
ATO2Basic Phase 2 Abschlussbericht

Autor(en)	Jens Nolte (I-NAT-SR40-PMO-PLP), ATO-Team
Vertraulichkeit	Öffentlich
Status	Freigegeben
Version	1.0
Letzte Änderung	1. Dezember 2020
Letzte Änderung durch	Jens Nolte
Urheberrecht	Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Jegliche kommerzielle Nutzung bedarf einer vorgängigen, ausdrücklichen Genehmigung.
Ablage:	Veröffentlichung dieses Dokuments sowie zugehörige Referenzdokumente: https://www.smartrail40.ch
	Deutsch
Originalsprache	Bei Widersprüchen zwischen den Sprachversionen gilt die Version in der Originalsprache.

INHALTSVERZEICHNIS

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	4
TABELLENVERZEICHNIS	4
ÄNDERUNGSNACHWEISE	4
GLOSSAR	5
1. MANAGEMENT SUMMARY	6
1.1. Übersicht Resultate der Überprüfung	7
1.1.1. Zielerreichung der Phasenziele	7
1.1.2. Neu implementierte Funktionen in Phase 2	7
1.1.3. Weitere Erkenntnisse in Phase 2	8
2. EINLEITUNG	9
2.1. Ziele der Phase 2 des ATO2Basic Piloten	9
2.2. Generische Systemarchitektur ATO GoA2	9
2.3. Testumgebung	10
2.4. Testorganisation	11
2.5. Aufgezeichnete Rohdaten	13
2.6. Testfälle	13
3. INBETRIEBSETZUNG MIT ATO OBU FUNKTIONSMUSTER DES LIEFERANTEN (SIEMENS)	15
3.1. Grundlegende Funktionalitäten	16
3.2. Implementierte Funktionalitäten und deren Überprüfung	16
3.2.1. Adhäsionsregelung	16
3.2.2. Langsamfahrstellen (Area Speed Restrictions)	17
3.2.3. ATO-Verbotzonen (ATO-Inhibition Zone)	17
3.2.4. Türsteuerung	17
3.2.5. Auslassen von Halten	17
3.2.6. Schutzstrecke	18
3.2.7. Abfahrtszeit	18
3.2.8. End of Movement Authority Offset	18
3.2.9. Zusammenfassung Resultate der Überprüfung	18
4. BEOBACHTUNGEN AUS DURCHGEFÜHRTEN VERSUCHEN	19

4.1. Grundlegendes Fahrverhalten	19
4.1.1. Ankunftszeit	19
4.1.2. Halteposition	20
4.1.3. Haltevorgänge	21
4.1.3.1. Auswertung Einhaltung der Vorgaben	22
4.1.3.2. Auswertung Abhängigkeit Halteposition von der Balisendistanz	24
4.1.3.3. Nächste Schritte	24
4.2. Erweitertes Fahrverhalten / Weitere Parameter	25
4.2.1. Reduzierung von Verspätungen	25
4.2.2. Fahren nahe an der Bremskurve	28
4.2.3. Energieverbrauch	28
4.2.4. Potenzial zum Brechen von Lastspitzen:	30
4.2.5. Adhäsion	30
4.2.6. Fahrverhalten bei Schutzstrecken	31
4.2.7. Steuerung durch RCS / Journey Profile Updates / Regelkreise	31
4.2.7.1. Übersicht Regelkreise	32
4.2.7.2. Fahren mit Live-Daten aus dem RCS	33
5. FAZIT	35
5.1. Zielerreichung der Phasenziele	35
5.2. Anwendbarkeit der TSI Normenentwürfe im schweizerischen Bahnbetrieb	35
5.3. Fahrverhalten	36
5.4. Pünktlichkeit	36
5.5. Halteposition	36
5.6. Energiesparen	36
5.7. Dynamisches Fahr-/Bremsverhalten	37
5.8. Nutzen für den Bahnbetrieb und das Lokpersonal	37
5.8.1. Von der Industrie ausgewiesener Nutzen von ATO und dessen Bewertung	37
5.8.1.1. Bewertung des Energiesparpotenzials:	37
5.8.1.2. Bewertung der Kapazitätssteigerung (Stabilität, Knotenkapazität)	37
5.8.2. Bewertung des Potenzials von ATO GoA2 zur Entlastung des Lokpersonals	38
6. AUSBLICK	39
7. SBB SPEZIFISCHE BEMERKUNGEN	40
8. FINDINGS IN DEN NORMEN	41
9. VERZEICHNIS REFERENZDOKUMENTE	41

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Generische Systemarchitektur	9
Abbildung 2 Teststrecke	10
Abbildung 3 Testorganisation und Systemübersicht	11
Abbildung 4 Gesammelte Daten	13
Abbildung 5 Anzahl Testfälle pro Kategorie	14
Abbildung 6 Funktionsmuster "provisorisches DMI"	15
Abbildung 7 Fahrt mit ATO zwischen Vevey (VV) und St. Saphorin (STSA)	19
Abbildung 8 Fahrt mit ATO zwischen Montreux (MX) und Territet (TER)	20
Abbildung 9 Delta-Messung der Halteposition	20
Abbildung 10 Halteposition (215 Messungen)	21
Abbildung 11 Prozentsatz Einhaltung der Vorgaben	22
Abbildung 12 Halteposition bei optimalen Balisen-Positionen mit ATO-OBU-Funktionsmuster	23
Abbildung 13 Haltegenauigkeit in Abhängigkeit zur Balisendistanz von der Halteposition	24
Abbildung 14 Verspätung abbauen Beispiel 1	26
Abbildung 15 Verspätung abbauen Beispiel 2	27
Abbildung 16 Fahren nahe der Bremskurve	28
Abbildung 17 Vergleich Energieverbrauch Manuell-ATO	29
Abbildung 18 Vergleich des Bremsverhaltens bei guter und schlechter Adhäsion	31
Abbildung 19 Systemarchitektur mit Darstellung der Regelkreise	33

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Zielerreichung der Phasenziele	7
Tabelle 2 Erfüllungsgrad neue Funktionen der Phase 2	7
Tabelle 3 Weitere Erkenntnisse aus Phase 2	8
Tabelle 4 Bahnhöfe und Abfahrtszeiten	10
Tabelle 5 Details der Testumgebung	11
Tabelle 6 Rollen im Testteam	12
Tabelle 7 Übersicht Erfüllungsgrad neue Funktionen	18
Tabelle 8 Übersicht Erreichung der Phasenziele	35

Änderungsnachweise

Version	Datum	Autor	Fachstelle / Freigebende Stelle	Bemerkungen / Art der Änderung	Status
X.3	23.11.2020	Jens Nolte	I-NAT-SR40-ATO Siemens Mobility	Finaler Entwurf zum externen Review	freigegeben
1.0	01.12.2020	Jens Nolte	I-NAT-SR40-ATO	Erstausgabe zur Veröffentlichung	freigegeben

Glossar

ATO-OB	Automatic Train Operation – On Board Unit (in RCA: ATO-AV)
ATO-TS	Automatic Train Operation – Trackside (in RCA: ATO-AT)
ATO Disengaging (DE)	Betriebsmodus der ATO-OB, gleichbedeutend mit «Übergang vom aktiven zum inaktiven Zustand. Von ATO
ATO Engaged (EG)	Betriebsmodus der ATO-OB, gleichbedeutend mit «ATO aktiv»
ATO Ready (RE)	Betriebsmodus der ATO-OB, gleichbedeutend mit «ATO nicht aktiv, kann aber aktiviert werden»
DCS	Data Collection System (Zentrales System der SBB, aus welchem die Energiedaten bezogen wurden)
DDS	Data Distribution Service (Datenspeicher der Fahrzeugleittechnik)
DMI	Driver Machine Interface
EMS	Energy Meter System
EoA	End of Movement Authority – Ende der ETCS Fahrerlaubnis
ETCS L2 FS	European Train Control System Level 2 Full Supervision
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen
Journey Profile	Ein Satz von Fahrplan-, Strecken- und anderen Betriebsdaten, der eine Fahrt beschreibt, welche von einem automatisch betriebenen Zug ausgeführt werden soll.
Passing Point	Ein Punkt auf der Strecke, der mit ATO zu einem definierten Zeitpunkt durchfahren wird.
RBC	Radio Block Centre
RCS	Rail Control System (Dispositionssystem der SBB-TMS-Produkt)
Segment Profile	Ein Satz von Infrastrukturdaten, die für die Durchführung von automatischen Fahrten benötigt werden.
Shift2Rail	Bahninnovationsinitiative der EU
SS125	Funktionale Systemanforderungen an ein interoperables "ATO over ETCS" System, beschränkt auf GoA1 (C-DAS) und GoA2 (excl. GoA3 and GoA4).
SS126	ATO-OB / ATO-TS Interface (FFFIS)
SS130	ETCS-OB / ATO-OB Interface (FFFIS)
SS139	ATO-OB / Train Interface (FFFIS)
Stopping Point	Ein Haltepunkt auf der Strecke, an dem ATO zu einem definierten Zeitpunkt hält.
TCMS	Train Control and Management System, Fahrzeugleittechnik
TMS	Traffic Management System (Dispositionssystem, bei der SBB das RCS)
TSI	Technische Spezifikationen für die Interoperabilität

1. Management Summary

Der Pilot ATO2Basic der SBB überprüft die zukünftigen Normen der TSI 2022 für ATO GoA2 auf Umsetzbarkeit ohne negativen Einfluss auf den Schweizer Bahnbetrieb, sowie die Überprüfung der Steuerbarkeit durch ein TMS, in diesem Falle das RCS der SBB. Weiterhin soll ein Proof of Concept erbracht werden, ob die Normen bereits mit der aktuellen ETCS Baseline 2.3.0.d einsatzfähig sind. Die Phase 1 wurde im Jahr 2019 abgeschlossen und in Referenz 4 dokumentiert. Das vorliegende Dokument beschreibt die Ergebnisse der in den Jahren 2019 und 2020 durchgeführten Phase 2.

Die Ziele der ATO2Basic Phase 2 wurden vollumfänglich erreicht: Ein ATO Betrieb im GoA2 ist mit ETCS Baseline 2.3.0.d ohne negative Beeinflussung des Bahnbetriebs möglich, auch mit dynamischen Fahrplanvorgaben durch RCS. Es wurden umfangreiche Beobachtungen des Fahrverhaltens durchgeführt.

- Die Beobachtungen des Fahrverhaltens ergaben, dass das ohne Performanceanforderungen verwendete ATO-OBU Funktionsmuster das Potenzial aufzeigt, gleichzeitig mit einer Fahrplanabweichung von wenigen Sekunden präzise an einer definierten Halteposition anzuhalten, und dabei energieoptimiert fährt. Die Plausibilität des von der Industrie ausgewiesenen Energiesparpotenzials (bis 42%) wurde in Einzelmessungen mit bis zu 37% bestätigt. (Siehe Kapitel 5.6)
- ATO fährt im Bedarfsfall eng an den definierten Systemgrenzen, wie z.B. Beschleunigungsverhalten und die konservativen ETCS Bremskurven. Die Möglichkeit zur Reduktion bestehender Reserven der Bremskurven für Fahrten mit GoA2 in der Kapazitätsplanung sollte analysiert werden. (Siehe Kapitel 5.3)
- Die Vorgaben des Lokpersonals an die Halteposition für den Fernverkehr hält das Funktionsmuster der ATO-OBU zu 100% ein. Die smartrail 4.0 Anforderungen von +/- 1.5m werden bei den existierenden Balisen (welche in etwa den Shift2Rail Empfehlungen entsprechen) zu 97% eingehalten. (Siehe Kapitel 5.5)
- Die in der verwendeten ATO OBU umgesetzten Funktionen zeigen den Beitrag zur präzisen Fahrzeugsteuerung, und damit zur Optimierung des Bahnbetriebs auf Pünktlichkeit und Knotenkapazität. Gleichzeitig bildet sie auch den regulären Bahnbetrieb mit Funktionen zur Adhäsionsregelung, betrieblichen Situationen und Türsteuerungsmöglichkeiten ab.

In der Phase 2 wurde mit einem ATO-OBU Funktionsmuster des Lieferanten Siemens getestet. Das Funktionsmuster war temporär in ein Stadler FLIRT Fahrzeug eingebaut. Sämtliche Schnittstellen waren gemäss den Entwürfen der TSI 2022 umgesetzt, die Anbindung an die Zugbeeinflussung unter ETCS BL 2.3.0.d wurde mittels eines vom Lieferanten bereitgestellten Adapters auf die entsprechende Schnittstelle realisiert. Infrastrukturseitig wurde mit dem von smartrail 4.0 entwickelten ATO-TS getestet, welches an das bestehende RCS angebunden war. Es wurden neben dem ATO-TS keine Änderungen oder Erweiterungen an der Infrastruktur durchgeführt. Insbesondere die für die Lokalisierung wichtigen ETCS Balisen wurden gemäss gültiger ETCS-Projektierung der SBB verwendet, ohne Optimierung mittels zusätzlicher Balisen.

1.1. Übersicht Resultate der Überprüfung

1.1.1. Zielerreichung der Phasenziele

Ziel		Bemerkung
ATO-Betrieb mit allen ATO-OBU Schnittstellen gemäss TSI Normenentwurf (soweit technisch machbar)	✓	Die Livetests wurden mit einem entsprechend ausgestatteten ATO-OBU Funktionsmuster durchgeführt.
Fahrbetrieb mit bidirektionaler Schnittstelle zum ATO-TS und somit Umsetzung dynamischer Fahrplanvorgaben durch RCS	✓	Es wurden Fahrten mit entsprechenden Vorgaben durchgeführt, die Umsetzung demonstriert, und auch Verbesserungspotenzial identifiziert
Weitegehende Beobachtungen des Fahrverhaltens mit erweiterter Funktionalität gegenüber Phase 1 (Siehe Kap. 3.2), Ermittlung des Potenzials	✓	Die Beobachtungen wurden durchgeführt und sind im vorliegenden Dokument beschrieben.
Beobachten und festhalten, dass die Funktionalität von ATO den Bahnbetrieb nicht negativ beeinflusst	✓	Es wurden keine negativen Auswirkungen auf den Bahnbetrieb festgestellt, Optimierungspotenzial ist jedoch vorhanden.
PoC: ATO GoA2 mit ETCS-Anbindung gemäss Subset 130 ist auch bereits mit der ETCS Baseline 2.3.0d umsetzbar.	✓	ATO mit GoA2 ist bereits mit Baseline 2.3.0.d möglich.

Tabelle 1 Zielerreichung der Phasenziele

➔ Die Phasenziele wurden vollständig erreicht

1.1.2. Neu implementierte Funktionen in Phase 2

Funktion	Erfüllungsgrad	Hinweise
Adhäsionsregelung	✓	Funktionalität in den Subsets umgesetzt, Prozesse zur Dateneingabe nicht definiert
Langsamfahrstellen (Area Speed Restrictions)	✓	Funktionalität umgesetzt
ATO-Verbotzonen (ATO-Inhibition Zone)	✓	Funktionalität umgesetzt
Türsteuerung	✓	Funktionalität umgesetzt
Auslassen von Halten	✓	Funktionalität umgesetzt
Schutzstrecke	✓	Funktionalität umgesetzt, Verbesserungspotenzial an Shift2Rail gemeldet
Abfahrtszeit	✓	Umsetzung nur auf provisorischem DMI ohne Diaplay getestet
End of Movement Authority Offset	✓	Funktionalität umgesetzt, Verbesserungspotenzial an Shift2Rail gemeldet

Tabelle 2 Erfüllungsgrad neue Funktionen der Phase 2

➔ Die neu implementierten Funktionen wurden erfolgreich getestet

1.1.3. Weitere Erkenntnisse in Phase 2

Funktion	Erfüllungsgrad	Hinweise
Pünktlichkeit	✓ Sekundengenau	Ankunftszeit wird sekundengenau eingehalten
Fahrprofil	✓	ATO fährt sehr nahe an der ETCS Bremskurve
Genauigkeit Halteposition	✓ +/- 1.5m	Es werden bei optimalen Balisenpositionen (gemäss Shift2Rail Empfehlung) zu 100% die Anforderungen des Regionalverkehrs und zu 97% die Anforderungen von smartrail 4.0 (+/- 1.5m) bereits mit dem Funktionsmuster eingehalten.
Energieoptimierte Fahrweise	✓	Die Plausibilität des von der Industrie mit bis zu 42% ausgewiesenen ATO Energiesparpotenzials konnte mit einer Einzelmessung mit 37% erhärtet werden. (Das Beispiel stammt aus dem referenzierten Dokument DB Cargo Pilot Vorbereitung Sion-Sierre)

Tabelle 3 Weitere Erkenntnisse aus Phase 2

➔ **Industrieraussagen bezüglich ATO zu Pünktlichkeit, Fahrprofil, Genauigkeit Halteposition und energieoptimierte Fahrweise konnten nachvollzogen werden.**

2. Einleitung

Dieses Dokument fasst die Erkenntnisse der ATO2Basic Phase 2 zusammen, die zur Prüfung der Praxistauglichkeit von ATO GoA2 auf der Strecke Lausanne-Villeneuve durchgeführt wurden. Der Testzeitraum erstreckte sich von November 2019 bis Juni 2020, sämtliche Ergebnisse wurden mit Entwürfen der entsprechenden Schnittstellen gemäss der «Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität» (TSI), sowie mit einem ETCS System mit Baseline 2.3.0.d erarbeitet und durchgeführt. In diesem Kapitel werden die Rahmenbedingungen der Testfahrten beschrieben.

2.1. Ziele der Phase 2 des ATO2Basic Piloten

Die ausgewiesenen Ziele der Phase 2 des ATO2Basic Piloten sind die folgenden:

- ATO-Betrieb mit allen ATO-OBU Schnittstellen gemäss TSI Normenentwurf (soweit technisch machbar)
- Fahrbetrieb mit bidirektionaler Schnittstelle zum ATO-TS und somit Umsetzung dynamischer Fahrplanvorgaben durch RCS
- Weitergehende Beobachtungen des Fahrverhaltens mit erweiterter Funktionalität gegenüber Phase 1
- Durch Beobachtung sicherstellen, dass die Funktionalität von ATO den Bahnbetrieb nicht negativ beeinflusst
- Proof of Concept, dass ATO GoA2 mit ETCS-Anbindung gemäss Subset 130 auch bereits mit der ETCS Baseline 2.3.0d umsetzbar ist.

2.2. Generische Systemarchitektur ATO GoA2

Die nachfolgende Abbildung enthält die Darstellung der generische Systemarchitektur auf Stufe GoA2, sowie die Beschreibung der wichtigsten Funktionsblöcke mitsamt der Einbettung der ATO-OBU in die Umsysteme.

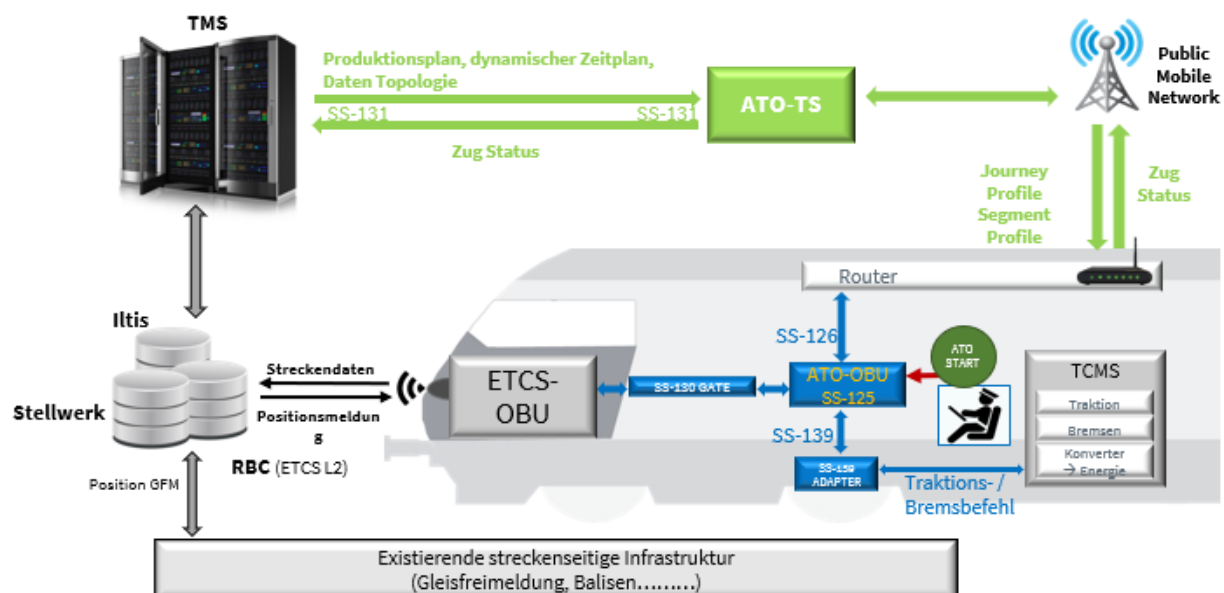


Abbildung 1 Generische Systemarchitektur

2.3. Testumgebung

Die Versuche, beziehungsweise die Durchführung aller Testfälle, fanden auf der dreissig Kilometer langen, mit ETCS Level 2 FS ausgebauten Strecke Lausanne und Villeneuve statt. Auf dieser Strecke verkehren neben Regionalzügen auch Intercity und Güterzüge. Sie ist eine der wenigen europäischen ETCS L2 Strecken, auf welcher Regionalverkehr abgewickelt wird.



Abbildung 2 Teststrecke

Im Regelbetrieb sind die Fahrzeiten gemäss SBB Fahrplan, gemessen ab Abfahrtsbahnhof, die folgenden:

Bhf Nr.	Haltestelle	Ankunft Minute Hinfahrt	Abfahrt Minute Hinfahrt	Ankunft Minute Rückfahrt	Abfahrt Minute Rückfahrt
1	Lausanne		00	37	
2	Pully	03	03	33	33
3	Lutry	05	05	29	29
4	Villette VD	07	07	28	28
5	Cully	10	10	26	26
6	Epesses	11	11	23	23
7	Rivaz	14	14	20	20
8	St. Saphorin	16	16	19	19
9	Vevey	21	22	14	15
10	La Tour-de-Peilz	23	23	11	11
11	Burier	25	25	09	09
12	Clarens	27	27	08	08
13	Montreux	30	31	07	07
14	Territet	32	32	04	04
15	Veytaux-Chillon	34	34	02	02
16	Villeneuve	38	n/a	n/a	00

Tabelle 4 Bahnhöfe und Abfahrtszeiten

Die Einzelheiten zur Infrastruktur, zum Fahrzeug inklusive Ausrüstung sowie zum Normenstand sind in der folgenden Tabelle aufgelistet:

Titel	Beschreibung
Versuchsstrecke	Lausanne-Villeneuve (30 km)
Haltestellen	13
Versuchsfahrzeug	Stadler FLIRT (4 teiliger S-Bahn Triebzug) 523 028
ATO-OBU	Funktionsmuster auf Basis "S2R Pilot Line" vom Lieferanten (Siemens) gemäss Normenentwürfen TSI 2022
ETCS-OBU	Baseline 2.3.0.d vom Lieferanten Siemens, mit SS130-Adapter
Infrastruktur	ETCS L2 FS vom Lieferanten Thales (ohne Anpassungen für ATO Tests) Baseline 2.3.0.d
Normenentwürfe	SS125 Version 0.1.0 / Stand 04.05.2018 SS126 Version 0.0.16 / Stand 07.05.2018 SS130 Version 0.1.0 / Stand 04.05.2018 SS139 Version 0.0.9 / Stand 01.02.2019

Tabelle 5 Details der Testumgebung

2.4. Testorganisation

Eine definierte Testorganisation stellt die geplanten Versuche und Messresultate sicher. Dafür wurde ein Team von mehreren Personen involviert.

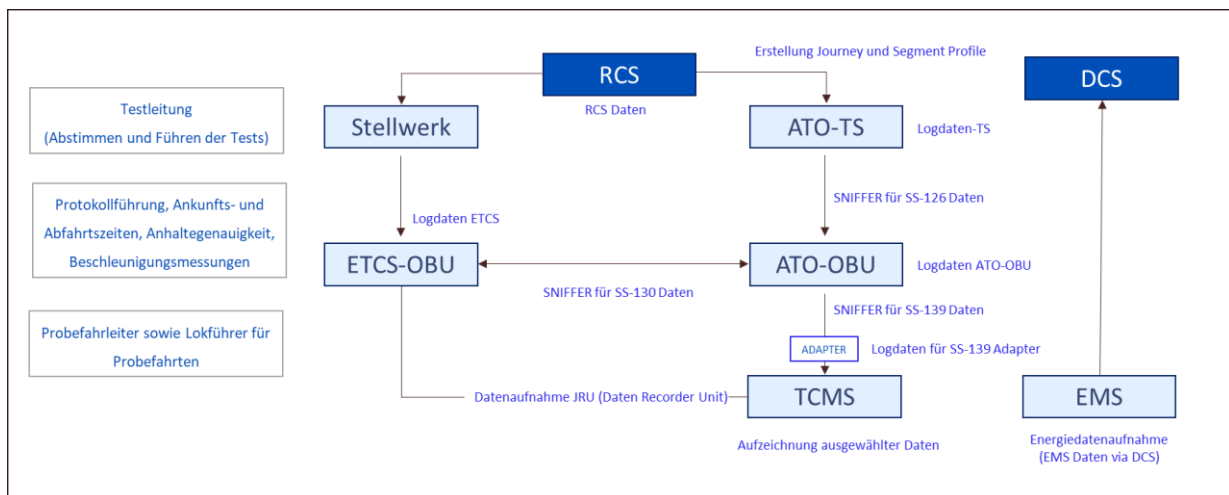


Abbildung 3 Testorganisation und Systemübersicht

Diese Abbildung stellt die Verantwortlichkeiten in Bezug auf das Testsystem dar. An den entsprechenden Interfaces sind die jeweiligen Daten gekennzeichnet. Beispielsweise ist der Sniffer an den Subsets ein durch jeweils ein definiertes Teammitglied betreutes Aufzeichnungsgerät für die jeweils übertragenen Daten.

Jede Verantwortlichkeit ist klar einem einzelnen Teammitglied zugewiesen. Einzelne Aufgaben wurden von nicht permanenten Teammitgliedern ausgeführt, die jeweils ein oder mehrere Testwochenenden an den Fahrten beteiligt waren. Diese sind bei den Zuständigkeiten als „Verschiedene“ beschrieben.

Verantwortlichkeit	Zuständig	Organisation	Bemerkung
Protokollierung	Verschiedene	SR40, SBB-P	Durchgeführte Testfälle, spezielle Vorkommnisse (Wetter etc.)
Ankunfts-/Abfahrtszeit notieren	Verschiedene	SR40, SBB-P	Mit GPS-Uhr
Logdaten ATO-OBU	Jens Nolte	SR40	Auswertung nur durch den Lieferanten (Siemens) möglich
Erstellen der Journey und Segment Profile	Daniel Minder	SBB IT ATO-TS	Daten von TMS zu ATO-TS
Logdaten ATO-TS	Daniel Minder	SBB IT ATO-TS	
SS-139 Daten	Michael Matthias	SBB-P	Sniffer zwischen ATO-OBU und TCMS
SS-126 Daten	Michael Matthias	SBB-P	Sniffer zwischen ATO-OBU und ATO-TS
SS-130 Daten	Michael Matthias	SBB-P	Sniffer zwischen ATO-OBU und ETCS
Logdaten SS139-Adapter	Michael Matthias	SBB-P	Logfiles des Adapters
JRU Daten	Franziska Wanner	SBB-P	Datenrecorder TELOC®
Leittechnik Parameter	Franziska Wanner	SBB-P	TOP1131® Aufzeichnung ausgewählter Leittechnik Daten
Energiedaten	Verschiedene	SBB-I-EN	EMS Daten via DCS
RCS Daten	Verschiedene	SBB IT, SR40	
Lokpersonal für Probefahrten (LpP)	Verschiedene	SBB-P	
Sicherheit bei Testfällen Türöffnung	Verschiedene	SR40, SBB-P	
Probefahrleiter (PFL)	Verschiedene	SBB-P	Kontakt zum Fahrdienstleiter in der Betriebszentrale
Fahrzeugumbau	Michael Matthias Franziska Wanner	SBB-P	
Testleiterin	Franziska Wanner	SBB-P	Abstimmen und führen der Tests mit allen Beteiligten
Logdaten ETCS	Franziska Wanner	SBB-P	(teilweise)
DDS	Franziska Wanner	SBB-P	Ereignisdaten Leittechnik (teilweise)
Videoaufnahmen	Franziska Wanner	SBB-P	Mit GoPro (teilweise)
Halteposition	Verschiedene	SBB-P, SR40	Distanzmessungen am Bahnhof
Energiedaten	Verschiedene	SBB-I-EN	
Datenauswertung, Analyse	Xiaolu Rao	SR40	

Tabelle 6 Rollen im Testteam

2.5. Aufgezeichnete Rohdaten

In der nachfolgenden Abbildung ist eine Übersicht über die aufgezeichneten Rohdaten abgebildet. Es wird dargestellt, an welchem Ort Rohdaten gesammelt wurden, die für die Auswertungen in diesem Bericht verwendet wurden.

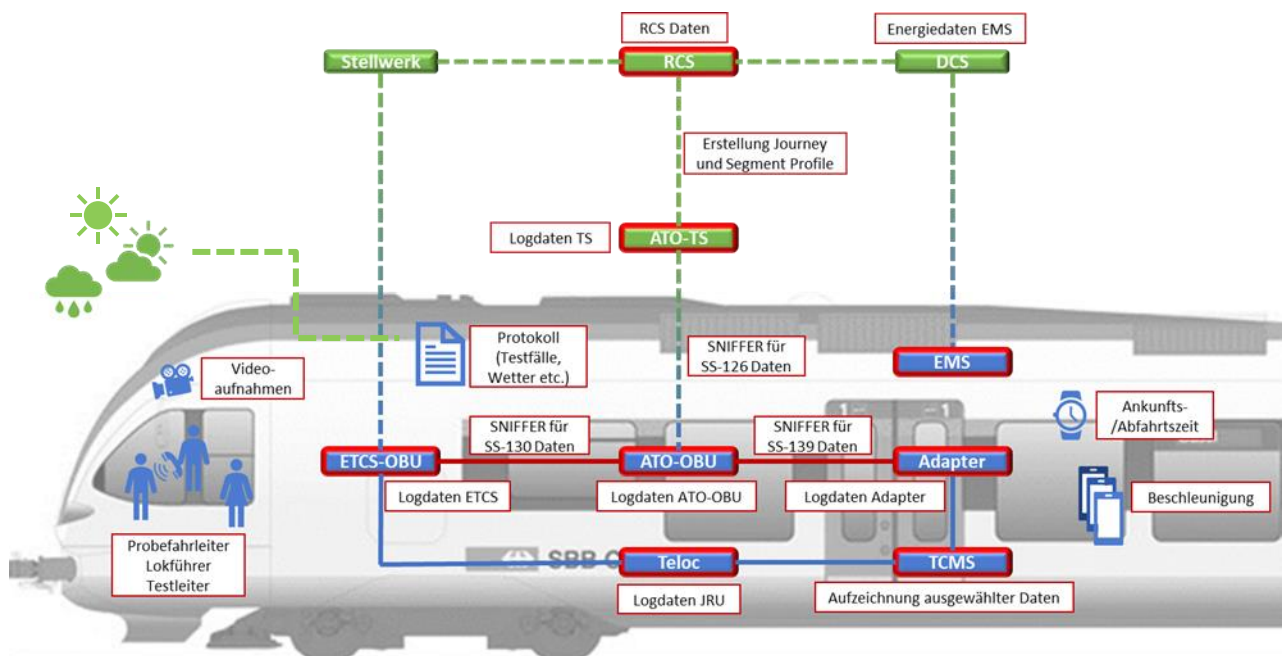


Abbildung 4 Gesammelte Daten

Einige Daten wurden per Hand protokolliert. Ebenso wurden Logdaten einiger System gespeichert. Aktivitäten auf den Interfaces wurden mittels eines Sniffers, der in die Ethernetverbindung eingeschleift war, laufend protokolliert. Die Videoaufzeichnungen wurden mittels einer Kamera auf dem Führerpult angefertigt. Sie wurden angefertigt, um im Bedarfsfall Vorgänge auf der Strecke nachvollziehen zu können, und wurden mittlerweile gelöscht.

2.6. Testfälle

Um die Anwendbarkeit, Vollständigkeit und Praxistauglichkeit der TSI Normenentwürfe von ATO GoA2 bewerten zu können, sind insgesamt 105 unterschiedliche Testfälle unterschiedlich häufig durchgeführt worden. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Testverteilung nach Kategorie auf.

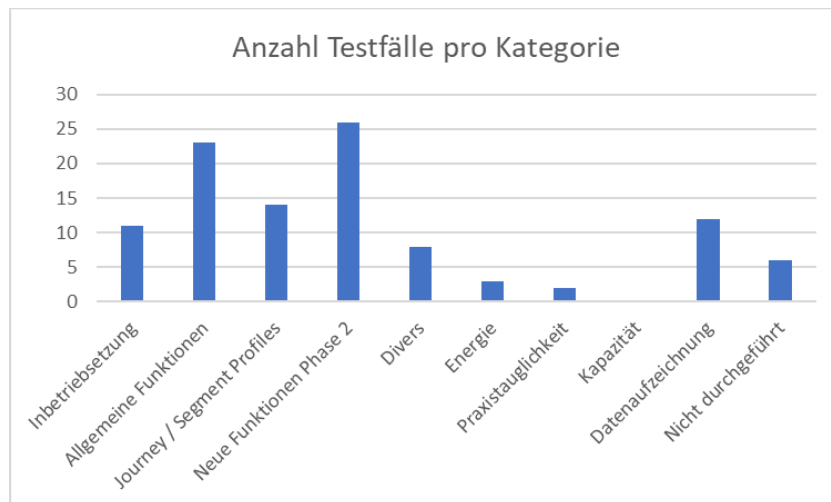


Abbildung 5 Anzahl Testfälle pro Kategorie

Die Kategorie «Neue Funktionen Phase 2» bezieht sich auf zusätzliche Funktionalität der ATO-OBU im SS125/126, welche im Vergleich zur ATO-OBU der Phase 1 durch den Lieferanten (Siemens) zusätzlich implementiert wurden.

Hinweis zur Kategorie «Kapazität»: Aufgrund des reduzierten Budgets für ATO2Basic konnten die entsprechenden Testfälle während der zur Verfügung stehenden Testwochenenden nicht durchgeführt werden.

Die Einzelheiten zu den Testfällen sind im Referenzdokument 3 « ATO2Basic Phase 2 Testcases V2.1 » dokumentiert.

3. Inbetriebsetzung mit ATO OBU Funktionsmuster des Lieferanten (Siemens)

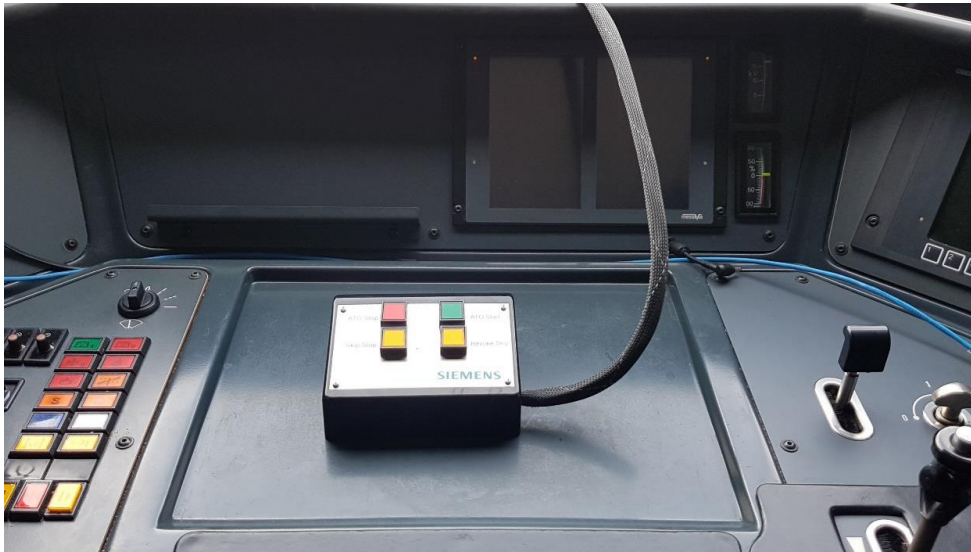


Abbildung 6 Funktionsmuster "provisorisches DMI"

Die ATO OBU verfügt nicht über ein DMI gemäss Normenentwurf, welches über das ETCS Display realisiert ist. Sie wird über ein einfaches DMI ohne Bildschirm bedient, das aus den folgenden Bedienelementen besteht:

- ATO Start: Einschalten des automatischen Fahrbetriebs
- ATO Stop: Ausschalten des automatischen Fahrbetriebs
- Skip Stop: Auslassen von Halten (siehe Kapitel 3.2.5)
- Revoke Skip: Rücknahme des Auslassens von Halten (siehe Kapitel 3.2.5)

Hinweis: Bei dem provisorischen DMI handelt es sich um die im Subset 125 vorgesehenen teilweise optionalen Bedienelemente. Die Anzeigefunktionen des ETCS Display wurden mangels verfügbarer ETCS Baseline 3.7 auf dem Fahrzeug nicht umgesetzt. Aus diesem Grund konnten in der Phase 2 des Projekts keine Beurteilungen des Benutzerinterface sowie der Bedienbarkeit durchgeführt werden. Dies ist ab ATO2Basic Phase 3 vorgesehen bzw. möglich.

3.1. Grundlegende Funktionalitäten

Um die Betriebstauglichkeit und die verschiedenen Funktionen der ATO Normenentwürfe zu verifizieren, wurden zuerst folgende grundlegenden Funktionen geprüft:

- Verbindung ATO OBU zu ATO TS für die Übermittlung der Journey und Segmentprofils (über das öffentliche Mobilfunknetz)
- ATO Start / Stop
- ATO deaktivieren mit Fahr/Bremshebel und Führerbremsventil
- Ansprechen der Sicherheitseinrichtung (ETCS)
- ETCS:
 - ETCS Levelgrenzen (L2FS nach L STM (ZUB)/ L STM (ZUB) nach L2FS)
 - Halt an End of Moving Authority
- Erkennen von Unterbrüchen der Datenverbindungen (ATO-OBU zu ETCS/TCMS)
- Verhalten beim Anfahren von Passing Points / Stopping Points
 - Zur geplanten Zeit durchfahren / anhalten
 - Updates: Zeitvorgaben verkürzen/verlängern (Update von Produktionsvorgaben)
- Korrekte Segmentprofile und neue Fahrwege via Update Segmentprofil
- Anbindung ATO-TS an RCS (Für die Versuchsfahrten. Zukünftig SR40 TMS)

3.2. Implementierte Funktionalitäten und deren Überprüfung

Die folgenden Funktionalitäten wurden implementiert und zumindest funktionell geprüft:

- Adhäsionsregelung
- Langsamfahrstellen (Area Speed Restrictions)
- ATO-Verbotzonen (ATO-Inhibition Zone)
- Türsteuerung
- Auslassen von Halten
- Schutzstrecke
- Abfahrtszeit
- End of Movement Authority Offset

In den folgenden Kapiteln werden die einzelnen Funktionen detailliert beschrieben.

3.2.1. Adhäsionsregelung

Die ATO-OBU ist mit einer Adhäsionsregelung gemäss Normenentwurf SS125 ausgestattet. Die Funktionalität vermeidet das Schleudern bzw. Durchdrehen der Räder bei schlechten Haftungsverhältnissen zwischen Rad und Schiene, beispielsweise bei nassen oder vereisten Schienen.

Über das SS126 von der ATO-TS (per Segment Profile) kann der Wert der Adhäsion in 10% Schritten an die ATO-OBU übermittelt werden. Die ATO-OBU passt ihre Fahrweise an, indem sie ihre maximale Traktionsanforderung bzw. Bremsanforderung entsprechend reduziert.

Wenn Adhäsionswerte über das SS139 vom TCMS an die ATO-OBU gesendet wurden, sendete die ATO-OBU diese in einer Statusmeldung an das ATO-TS weiter. Die Werte von TCMS wurden jedoch in dem verwendeten ATO-OBU Funktionsmuster nicht für die Regelung benutzt.

In der Umsetzung werden die Adhäsionswerte mit der angeforderten Zug- bzw. Bremskraft überlagert. Es war erkennbar, dass bei Adhäsionswerten <100% die Zug- bzw. Bremskraft geringer ist, und das Fahrverhalten des Fahrzeugs sich dementsprechend ändert.

Bei guter Adhäsion ist dies nur über die Reduktion der Zugkraftanforderung ersichtlich. Bei schlechter Adhäsion setzt der Gleitschutz (im Vergleich zu Fahrten ohne Verwendung der Adhäsionsregelung) subjektiv wahrnehmbar seltener ein.

Die im Funktionsmuster verwendete Adhäsionsregelung erfolgt mit dem in Kapitel 2.3 Stand der Normen. In der Zwischenzeit wurde die Adhäsionsregelung in den Gremien weiterentwickelt. In weiteren geplanten ATO2Basic Phasen (3, 4) muss die Adhäsionsregelung daher nochmals detailliert untersucht und getestet werden.

3.2.2. Langsamfahrstellen (Area Speed Restrictions)

Per Segmentprofil kann in gewissen Bereichen eine von der allgemeinen Streckengeschwindigkeit abweichende Höchstgeschwindigkeit definiert werden. Die Funktionalität wurde realisiert und erfolgreich geprüft.

3.2.3. ATO-Verbotzonen (ATO-Inhibition Zone)

Per Segmentprofil kann in gewissen Bereichen eine ATO-Verbotzone (Fahrt mit ATO verboten) eingerichtet werden. Das Lokpersonal muss daher die Kontrolle über das Fahrzeug übernehmen. Fährt das Fahrzeug in eine ATO-Verbotzone, so wechselt die ATO-OBU in den Modus «Disengaging» («wird deaktiviert»). Übernimmt der Fahrer innerhalb von 5s die Steuerung nicht, so bremst das Fahrzeug mit maximaler Bremskraft ab. Die ATO-Verbotzonen konnten erfolgreich getestet werden.

Hinweis: Es wurde lediglich die Funktionalität wie in Subset 125/126 beschrieben, umgesetzt. Die Anzeige der ATO Verbotzone auf dem DMI, wie im SS125 vorgesehen, wurde beim vorliegenden Funktionsmuster nicht realisiert. (Siehe auch Kap.3)

3.2.4. Türsteuerung

Die ATO-OBU kann bei Stillstand die vom Journey Profile vorgegebene seitenselektive Türfreigabe aktivieren. Weiterhin kann die ATO-OBU einen kompletten Zyklus (Freigabe-Öffnen-Schliessen-Verriegelung) durchführen. Die volle Funktionalität wurde realisiert und erfolgreich geprüft.

Hinweis: Für die Tests wurde die Sicherheit durch zusätzliches spezifisches Personal gewährleistet.

3.2.5. Auslassen von Halten

Die Funktion «Haltepunkt auslassen» (Skip Stopping Point) kann sowohl durch das Lokpersonal als auch vom Journey Profile aktiviert werden. Das Lokpersonal kann das «Haltepunkt auslassen» mit dem Taster «Revoke Skip» zurücknehmen. Dies unabhängig davon, ob die Vorgabe manuell oder per Journey Profile veranlasst wurde. Die Funktion wurde bei den entsprechenden Testfällen in allen Konstellationen ausgeführt.

3.2.6. Schutzstrecke

Da sich auf der Strecke Lausanne-Villeneuve keine Schutzstrecke befindet, wurde eine Schutzstrecke im Segmentprofil simuliert. Die ATO-OBU fordert, beim Durchfahren dieser fiktiven Schutzstrecke entsprechend den Erwartungen, keine Zugkraft an. Wie eine Schutzstrecke in die Berechnung des Fahrprofils eingerechnet wird, konnte nicht verifiziert werden, da der Regelalgorithmus geistiges Eigentum des Lieferanten ist.

3.2.7. Abfahrtszeit

Bei entsprechender Definition im Journey Profile, kann dem Lokpersonal auf dem DMI angezeigt werden, dass die vorgegebene Abfahrtszeit noch nicht erreicht ist. Dies geschieht beim verwendeten Funktionsmuster per Leuchtanzeige auf den entsprechenden Schaltern. Gemäss zukünftiger TSI erfolgt die Anzeige im DMI des ETCS unter Baseline 3 und kann mittels Taster / Schalter ergänzt werden. Da für die Tests ein zugelassenes ETCS BL 2.3.0d verwendet wurde, konnten die Informationen (Abfahrtszeit) auf dem DMI nicht geprüft werden. Die Abfahrtszeit per Leuchtanzeige auf dem entsprechenden Schalter konnte aber erfolgreich getestet werden.

3.2.8. End of Movement Authority Offset

Vor einer End of Movement Authority (EoA) erfolgt der Halt mit einem im Segmentprofil definierbaren Offset. Dies wurde mit verschiedenen Werten verifiziert. Das Fahrzeug hält mit dem jeweils vorgegebenen Abstand zum ETCS Haltsignal. Es wurde festgestellt, dass eine Anzeige des EoA Offsets auf dem DMI für das Lokpersonal nützlich wäre. Dies ist aktuell in der Norm nicht vorgesehen und an Shift2Rail zurückgemeldet.

3.2.9. Zusammenfassung Resultate der Überprüfung

Funktion	Erfüllungsgrad	Hinweise
Adhäsionsregelung	✓	Funktionalität in den Subsets umgesetzt, Prozesse zur Dateneingabe nicht definiert
Langsamfahrstellen (Area Speed Restrictions)	✓	Funktionalität umgesetzt
ATO-Verbotzonen (ATO-Inhibition Zone)	✓	Funktionalität umgesetzt
Türsteuerung	✓	Funktionalität umgesetzt
Auslassen von Halten	✓	Funktionalität umgesetzt
Schutzstrecke	✓	Funktionalität umgesetzt, Verbesserungspotenzial an Shift2Rail gemeldet
Abfahrtszeit	✓	Umsetzung nur auf provisorischem DMI getestet
End of Movement Authority Offset	✓	Funktionalität umgesetzt, Verbesserungspotenzial an Shift2Rail gemeldet

Tabelle 7 Übersicht Erfüllungsgrad neue Funktionen

Die grundlegenden Funktionalitäten wurden in der ATO-OBU gemäss den Normenentwürfen umgesetzt und auch entsprechend getestet. Die Umsetzung der Spezifikationen wurde bestätigt.

4. Beobachtungen aus durchgeführten Versuchen

Die folgenden Punkte wurden während der Testfahrten auf der Strecke Lausanne-Villeneuve im Zeitraum von September 2019 bis Juni 2020 beobachtet:

4.1. Grundlegendes Fahrverhalten

4.1.1. Ankunftszeit

Zusammenfassung

- Unabhängig von der Abfahrt «ATO-Start durch das Lokpersonal» regelt die ATO OBU auf die Soll-Ankunftszeit und erreicht eine Pünktlichkeit im niedrigen Sekundenbereich.
- Für die vollständige Einhaltung der Pünktlichkeit ist es ebenso wichtig, dass der Start der ATO-Fahrt rechtzeitig initiiert wurde.

Bei statisch vorgegebenen Abfahrts- und Ankunftszeiten im Journey Profile berechnet die ATO-OBU das Fahrprofil so, dass das Fahrzeug pünktlich (sekundengenau) ankommt.

Die pünktliche Ankunft kann nur erreicht werden, wenn keine Einschränkungen auf der Strecke, wie Signalhalte oder ungeplante Geschwindigkeitsbegrenzungen, auftreten. Die ATO-OBU wurde bei der Inbetriebsetzung durch den Lieferanten auf Pünktlichkeit optimiert. Alle entsprechenden Testfälle ergaben eine Ankunftszeit, wie im Journey Profile definiert, im Sekundenbereich.

Die nachfolgenden zwei Grafiken zeigen Beispiele für die aufgezeichneten Daten zur Pünktlichkeit.

Beispiel 1

zeigt auf, dass das Fahrzeug die definierte Halteposition in St. Saphorin eine Sekunde zu früh erreicht hat, obwohl eine um 14 Sekunden verspätete Bedienung des ATO-Start Knopfes in Vevey stattgefunden hat.

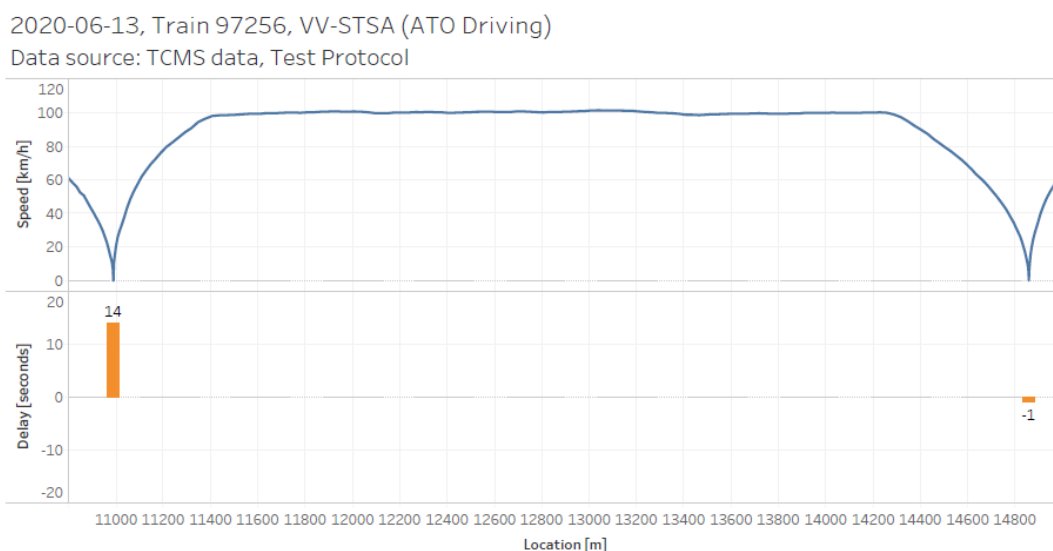


Abbildung 7 Fahrt mit ATO zwischen Vevey (VV) und St. Saphorin (STSA)

Beispiel 2

Abbildung 8 (Streckenabschnitt Montreux-Territet) zeigt speziell auf, dass die ATO OBU stets auf eine pünktliche (sekundengenaue) Ankunftszeit regelt. Bei pünktlichem «ATO Start» kommt das Fahrzeug auch sekundengenau zur definierten Zeit an und optimiert die Fahrt nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten (Optimaler Energiebedarf).

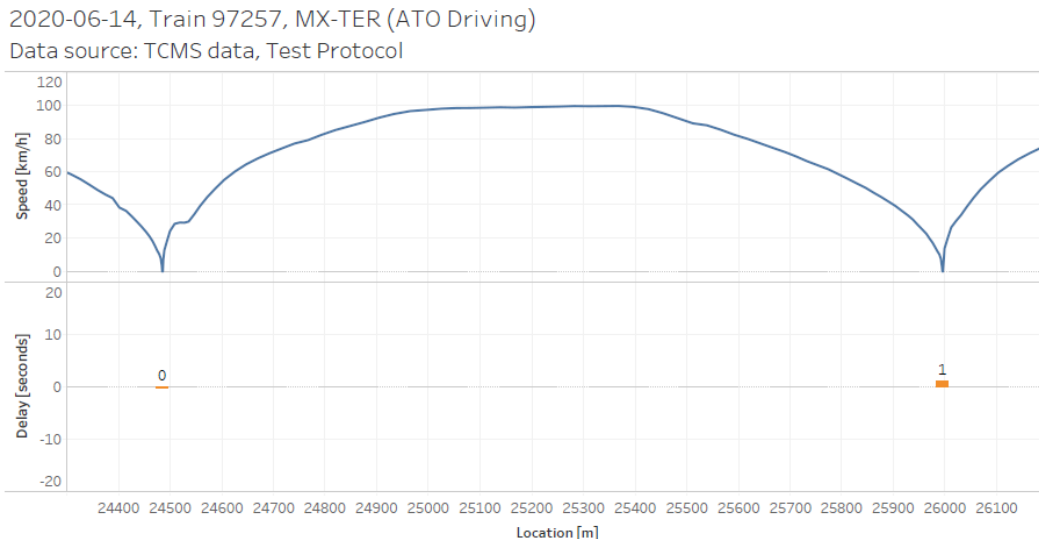


Abbildung 8 Fahrt mit ATO zwischen Montreux (MX) und Territet (TER)

4.1.2. Halteposition

Bei der Durchführung der Fahrten standen keine absoluten Haltepositionen zur Verfügung. Diese wurde erst bei der Nachbereitung ermittelt.

Um die Haltegenauigkeit zu ermitteln, wurde die relative Streuung der Haltepositionen vermessen. Hierzu wurde jeweils bei der ersten ATO-Fahrt die Vorderkante des Schiebetritts bei der ersten Tür markiert. Bei den Folgefahrten wurde die Abweichung zur Markierung gemessen.

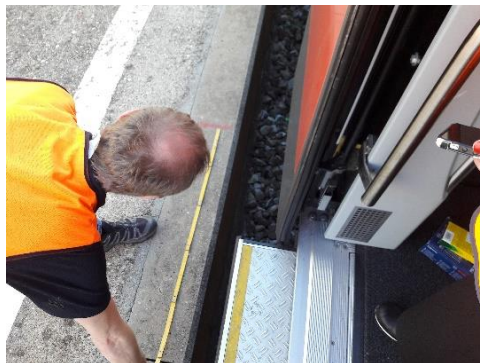


Abbildung 9 Delta-Messung der Halteposition

4.1.3. Haltevorgänge

Aus der Streuung der Haltepositionen auf der Strecke Lausanne-Villeneuve, wurde eine Statistik erstellt, welche die Abweichungen aus 215 Einzelmessungen darstellt. (Relative Haltegenauigkeit)

Die Genauigkeit ist abhängig von der Infrastruktur, insbesondere der Positionierung der ETCS Balisen: Die ATO-OBU verwendet zur Lokalisierung die ETCS-Balisen, und berechnet die aktuelle Position aus der ab der letzten Balise gefahrenen Strecke. Aus technischen Gründen nimmt die Genauigkeit der Odometrie mit zunehmendem Abstand zur letzten überfahrenen Balise ab, die bekannte Position wird ungenauer. Modellrechnungen von Shift2Rail haben ergeben, dass für eine optimale Genauigkeit der Halteposition von ATO eine Balise etwa 70m vor der Halteposition liegen sollte.

Rahmenbedingungen der Messungen:

- Ausschliessliche Nutzung der für ETCS vorhandenen Infrastruktur
- Balisen nicht für ATO Betrieb optimiert oder positioniert, bestehende ETCS Projektierungsrichtlinien der SBB
- Distanz zwischen Balisen und Halte-Ort bis zu 800m

Hieraus ergibt sich die nachfolgende Darstellung der relativen Haltepositionen:

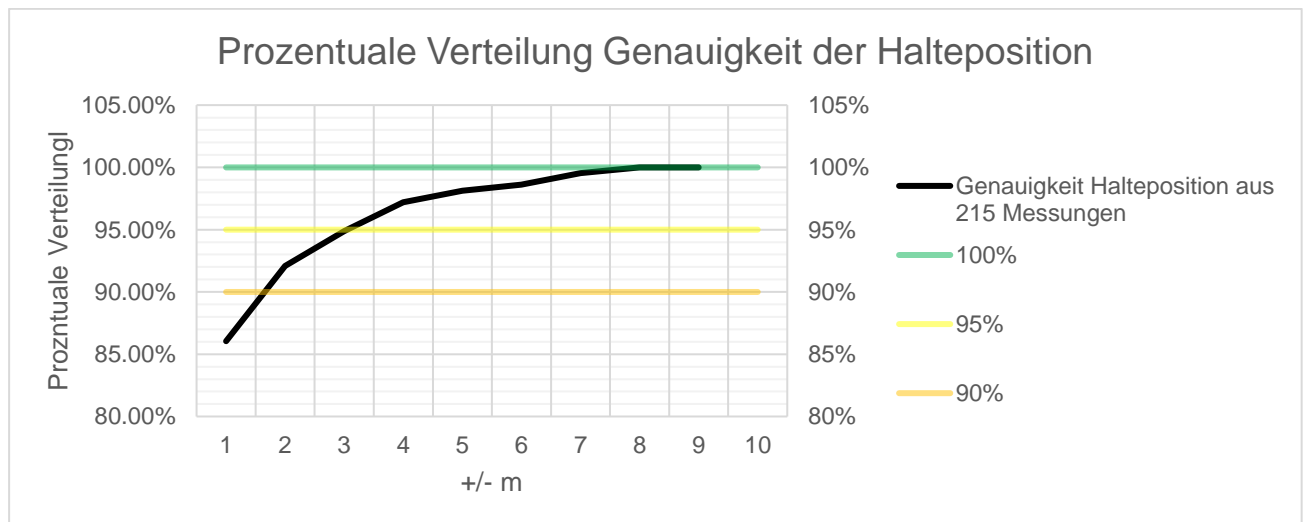


Abbildung 10 Halteposition (215 Messungen)

Die Werte der X-Achse des Diagramms sind das Toleranzfenster der Genauigkeit der Haltepositionen, die Y-Achse beschreibt den Prozentsatz der Messungen, die sich innerhalb dieses Toleranzfensters befinden.

Mit zunehmender Fenstergrösse (= abnehmende Genauigkeit der Haltepositionen) befindet sich ein höherer Prozentsatz der Messungen innerhalb des Toleranzfensters.

4.1.3.1. Auswertung Einhaltung der Vorgaben

Zusammenfassung

- **100%** der gemessenen Haltepositionen erfüllen bereits heute auf den existierenden ETCS Strecken die Vorgaben für das Lokpersonal von +/- 10m für den Fernverkehr.
- **100%** erfüllen die Vorgaben +/- 5m für den Regionalverkehr bei optimaler Position der Balisen (97% über alle Messungen unabhängig vom Balisenabstand)
- **97%** erfüllen die Vorgaben von smartrail 4.0 (< +/-1.5m) bei optimaler Position der Balisen (85% über alle Messungen unabhängig vom Balisenabstand)

Es existieren verschiedene Vorgaben an die Genauigkeit der Halteposition innerhalb der SBB:

- Smartrail 4.0 hat eine Anforderung für die Genauigkeit der Halteposition von +/- 1.5m definiert.
- Schulungsunterlagen für das Lokpersonal weisen eine empfohlene Genauigkeit der Halteposition von +/- 5m im Regionalverkehr, bzw. +/-10m im Fernverkehr aus.

Die 215 Messungen der Genauigkeit der Halteposition aus Abbildung 10 wurden den genannten Vorgaben gegenübergestellt. Hierbei stellte sich heraus, dass die Vorgabe von +/- 10m für den Fernverkehr zu 100% eingehalten wurde.

Wird das Toleranzfenster auf +/- 5m reduziert (Vorgabe für den Regionalverkehr), so befinden sich 97% der Messungen innerhalb dieses Fensters, d.h. lediglich 3% der Messungen hielten die Vorgaben für den Regionalverkehr nicht ein.

Bei einer weiteren Reduktion des Toleranzfensters auf die Vorgabe von smartrail 4.0 von +/- 1.5m sind 85% der Messungen in diesem Fenster enthalten. Abzüglich der 3%, die lediglich der Vorgabe des Fernverkehrs entsprechen, sind also 12% ausserhalb der Vorgabe von SR40, jedoch innerhalb der Vorgabe für den Regionalverkehr.

Die nachfolgende Abbildung stellt diese Verteilung grafisch dar.

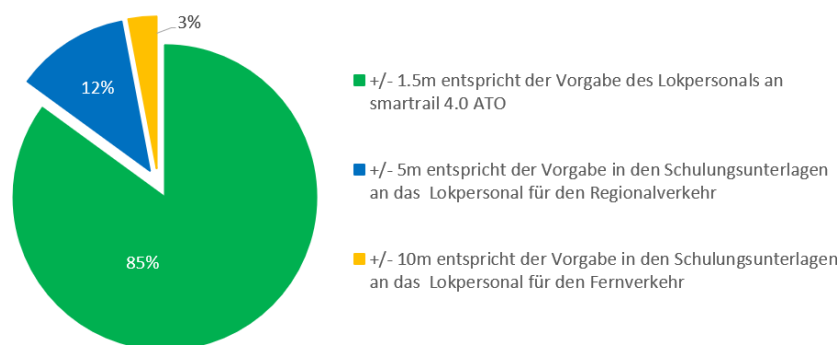


Abbildung 11 Prozentsatz Einhaltung der Vorgaben

Diese Auswertung enthält sämtliche Messungen, unabhängig von der Entfernung der letzten Balise zur Halteposition.

Zur Abschätzung des Potenzials der Normenentwürfe wurden in einer weiteren Auswertung nur die 61 Messungen verwendet, bei denen sich die letzte Balise vor dem Halt in einem optimalen Abstand von etwa 70m vor der Halteposition befindet, was den Empfehlungen von ShiftRail entspricht.

Hieraus ergibt sich die nachfolgende Verteilung:

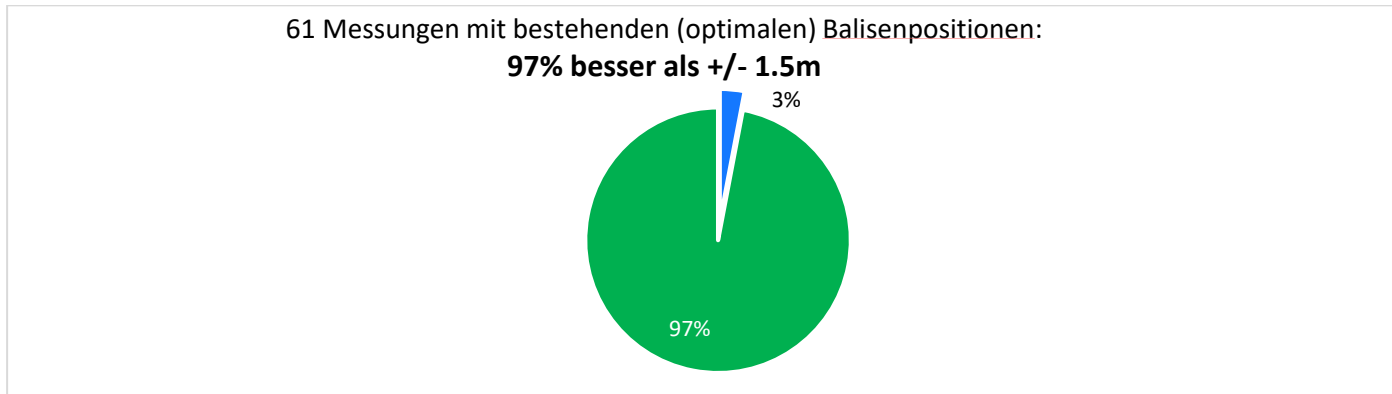


Abbildung 12 Halteposition bei optimalen Balisen-Positionen mit ATO-OBU-Funktionsmuster

Die Vorgaben an das Lokpersonal für den Regionalverkehr werden zu 100% eingehalten. In 97% der Fälle werden die Vorgaben an smartrail 4.0 eingehalten, 3% der Messungen liegen oberhalb dieser Vorgabe, jedoch innerhalb der Vorgabe für den Regionalverkehr.

4.1.3.2. Auswertung Abhängigkeit Halteposition von der Balisendistanz

Zusammenfassung

- Ist der Abstand zwischen Balise und Halteposition grösser als der empfohlene Abstand von ca. 70m, so nimmt die Genauigkeit der Halteposition ab.

Nach Ermittlung der absoluten Haltepositionen wurde eine Auswertung erstellt, welche die Abhängigkeit der Haltegenauigkeit zur Entfernung der letzten ETCS-Balise darstellt. Man erkennt, dass bei grösseren Abständen der Balisen zur Halteposition die Genauigkeit abnimmt.

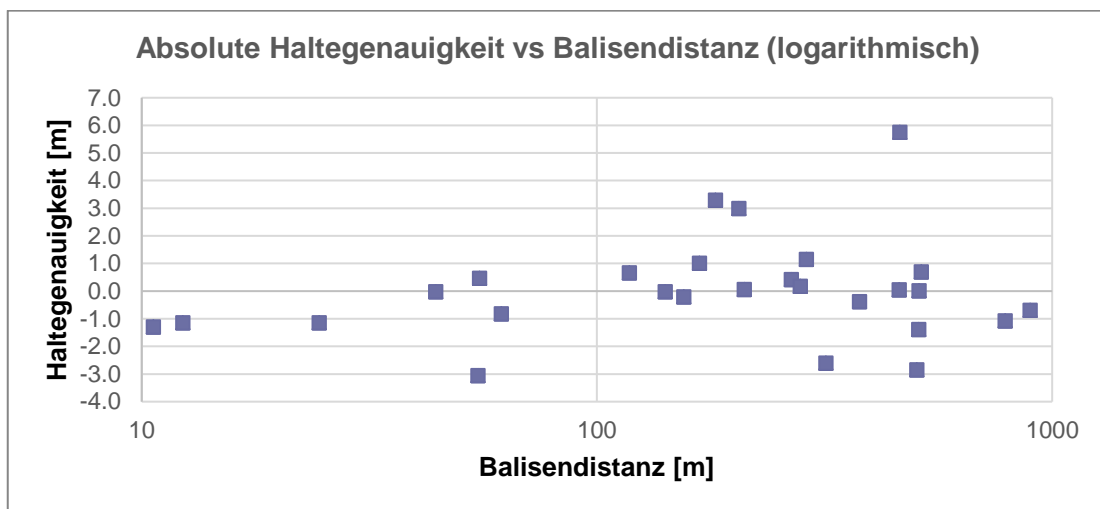


Abbildung 13 Haltegenauigkeit in Abhängigkeit zur Balisendistanz von der Halteposition

4.1.3.3. Nächste Schritte

In Phase 3 muss nach Implementierung der definitiven Normen eine erneute Auswertung der Haltegenauigkeit vorgenommen werden. Im Anschluss daran müssen die dann noch verbleibenden «Ausreisser» bezüglich der Vorgaben im Detail analysiert werden.

Sowohl auf OBU-Seite sowie infrastrukturseitig müssen die Abhängigkeiten zwischen Odometrie, Balisenpositionen, sowie der für die Segmentprofile verwendeten Datenbasis im Detail ermittelt werden.

4.2. Erweitertes Fahrverhalten / Weitere Parameter

4.2.1. Reduzierung von Verspätungen

Zusammenfassung

- Bei verzögerter Abfahrt ist, die ATO-OBU bestrebt, die geplante Ankunftszeit gemäss Journey Profile einzuhalten.
- Verspätungen werden somit entsprechend den System-Limiten (Beschleunigung, Fahren nahe der Bremskurve) bestmöglich aufgeholt oder auf das erreichbare Minimum reduziert.

Beispiel 1

Zugnummer 97180 vom 23.02.2019

Planmässige Fahrzeit von Veytaux-Chillon nach Pully: **30 min und 12s. (1812 s)**

Anzahl der Halte bis Pully: **13**

Aufgeholte Verspätung: **194s**

Aufgrund der Betriebslage war die Abfahrt aus Villeneuve, sowie die Weiterfahrt in Veytaux-Chillon verzögert. Die ATO-OBU strebte jeweils die Ankunftszeiten gemäss Journey Profile an.

Die nachfolgende Grafik zeigt auf, dass bei diesem Versuch die Verspätung von 360 Sekunden über die gesamte Strecke um **194 Sekunden reduziert wurde**. Somit Betrag die Verspätung bei der Ankunft am Zielbahnhof lediglich 166 Sekunden. Die Fahrgastwechselzeiten wurden durch das Vermessen der Halteposition simuliert und gemäss Vorgaben (minimale Haltezeit von 15 Sekunden entsprechend dem Dokument «P20000826: Betriebsvorschriften SBB- P, 6.3, Ziffer 1) eingehalten.

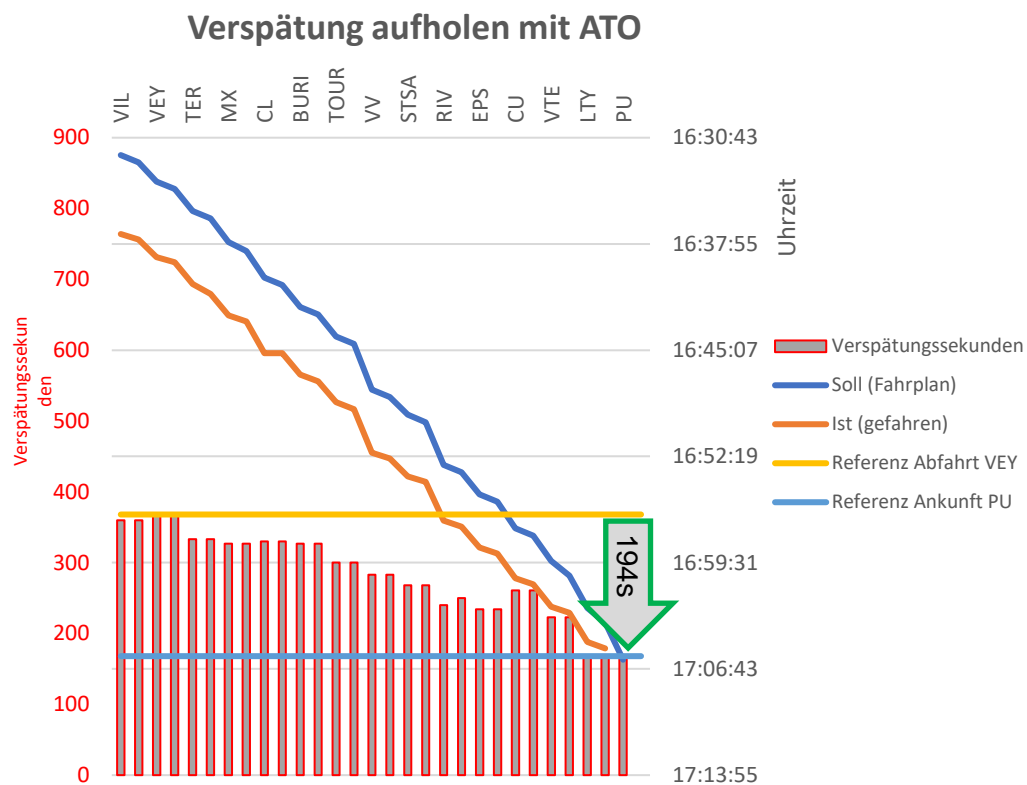


Abbildung 14 Verspätung abbauen Beispiel 1

Bei einer verspäteten Abfahrt in Veytaux-Chillon wurde bis zum End of Journey in Pully (1 Station vor Lausanne) **194 Sekunden wieder aufgeholt**. Bei einer Gesamtanzahl von 13 Haltepunkten (Bahnhöfen) auf der Strecke wird deutlich, dass auf derartigen Strecken die Haltezeit bzw. der Ein-/Aussteige-Vorgang der Fahrgäste eine erhebliche Rolle spielt (die Mindesthaltezeit beträgt 15 Sekunden) und darum für einen optimalen Fahrgastwechsel auch die präzise Halteposition eine wichtige Rolle spielt.

Eine Optimierung der Zeiten könnte / kann auch durch routiniertes Lokpersonal vorgenommen werden. Es ist dabei aber besonders zu beachten, dass ständiges Fahren an den Limiten und über eine längere Zeit, eine zusätzliche Belastung (Stress) für das Lokpersonal hervorruft. Demgegenüber kann im ATO Betrieb mühelos über längere Zeiträume an den Limiten gefahren werden und sich der Lokführer voll und ganz auf die Sicherheitsbelange kümmern.

Beispiel 2

Zugnummer 97255 vom 14.06.2019

Planmässige Fahrzeit von Pully nach Villeneuve: **30 min und 12 s. (1812 s.)**

Anzahl der Halte bis Pully: **14**

Aufgeholte Verspätung: **194s** innerhalb der Soll Zeit von 1524s. (Pully bis Clarens).

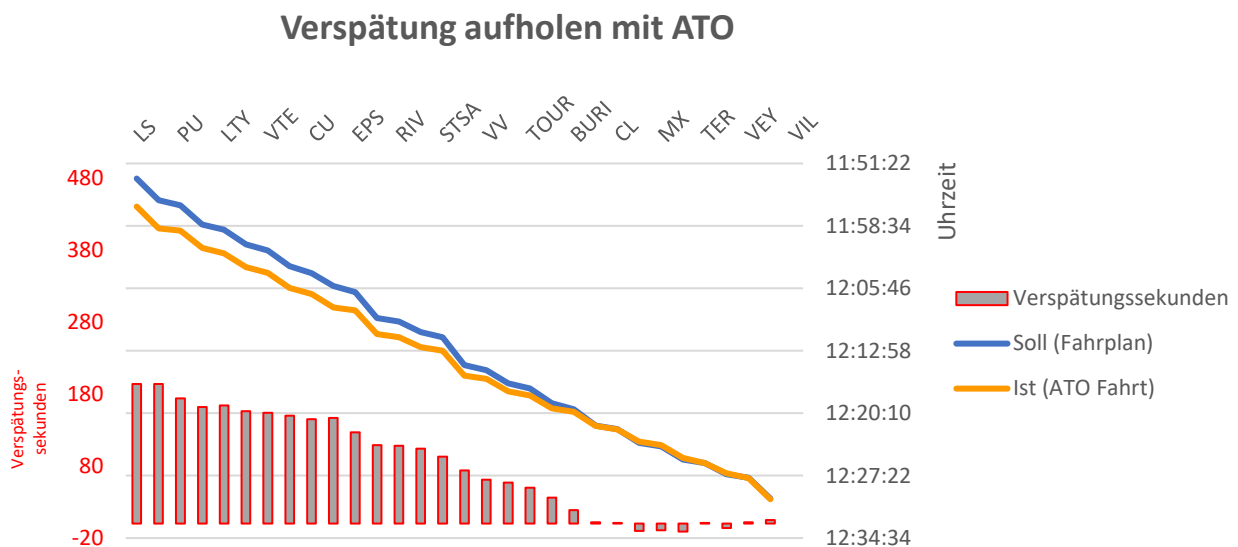


Abbildung 15 Verspätung abbauen Beispiel 2

Auch bei diesem Beispiel zeigt sich, dass sich die Zahl der Verspätungssekunden reduziert, bzw. die Verspätung sich vollständig kompensieren lässt. Die Abfahrt in Pully erfolgte 194s verspätet. (Dass es sich hier um denselben Wert wie die Verspätung handelt, der in Beispiel 1 aufgeholt wurde, ist Zufall.) Die planmässige Ankunft erfolgt zehn Halte später in Clarens. Die Pünktlichkeit von Clarens bis Villeneuve pendelt im Bereich von wenigen Sekunden um die planmässigen Zeiten.

Zusammenfassung der Beispiele

Durch konsequentes Ausnutzen des Fahrprofils an den Systemlimiten wie Bremskurven und maximale Beschleunigungswerte, holt ATO Verspätungen im Rahmen seiner maximalen Möglichkeiten auf, bei gleichzeitig präzisiertem Anfahren der Haltepositionen.

Eine entsprechende manuelle Fahrweise erfordert eine äusserst hohe Konzentration über die gesamte Fahrstrecke.

Der identische Wert der reduzierten Verspätung in beiden oben aufgeführten Beispielen ist rein zufällig

4.2.2. Fahren nahe an der Bremskurve

Zusammenfassung

- ATO fährt (bei Verspätung), zum Ende der MA, sehr nahe an der Bremskurve.

2020-02-23, Zug 97179, LS-VIL

Datenquelle: JRU data (TELOC data)

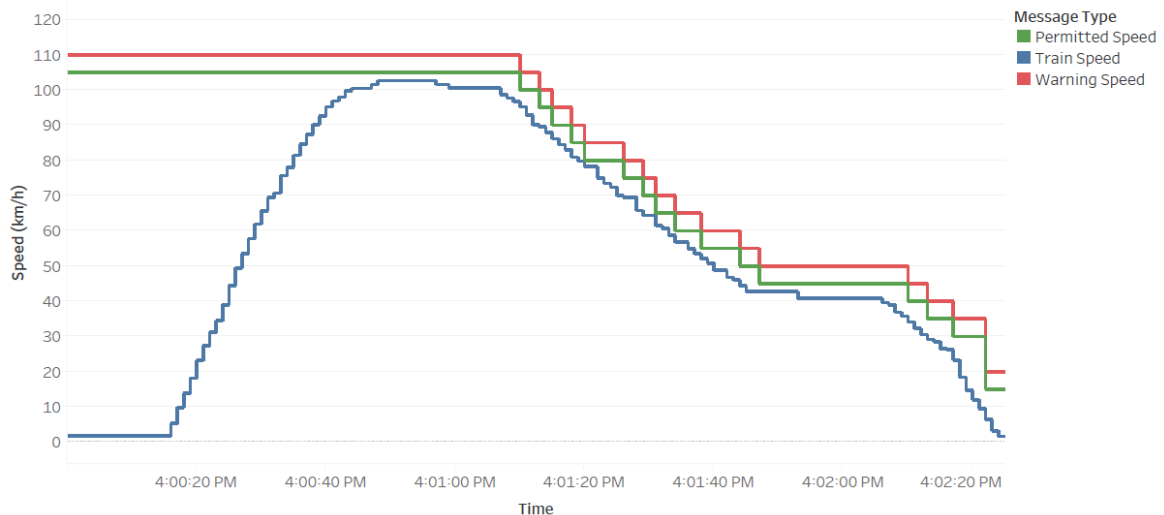


Abbildung 16 Fahren nahe der Bremskurve

Gemäss Abbildung 16 ist das Fahrverhalten von ATO bezüglich des Fahrens an der Bremskurve klar ersichtlich: Die Fahrt erfolgt sehr knapp an der von ETCS erlaubten Geschwindigkeit «permitted speed», jedoch mit Reserve unterhalb der Warnkurve «warning speed».

4.2.3. Energieverbrauch

Zusammenfassung

- Für eine repräsentative Erhebung des Energiesparpotenzials müssen weitere umfangreiche und nachvollziehbare Vergleichsfahrten mit klaren Vorgaben an das Lokpersonal, mit unterschiedlichem Personal und unter verschiedenen Witterungsverhältnissen durchgeführt werden.
- Bei einer Vergleichsfahrt ist die sehr unterschiedliche Fahrweise zwischen Lokpersonal und ATO eindeutig erkennbar. In einem Fall lag der Energieverbrauch mit ATO ca. **25%** unter dem Energieverbrauch der manuellen Fahrt.

Während der Testfahrten wurden **nicht repräsentative** erste Messungen zum Energieverbrauch durchgeführt.

Die ausgewerteten Testfälle sind einzelne Vergleichsfahrten. Es wurden nicht alle Fahrten ausgewertet, da es zu aufwändig gewesen wäre, sämtliche durchgeführten Testfälle mit manuellen Vergleichsfahrten nachzufahren. Der Fokus der Phase 2 lag nicht auf dem Nachweis des Energieverbrauchs.

Nach einer ersten Beobachtung der generellen Unterschiede des Fahrverhaltens über die Strecke (zum Vergleich, ab wo und wie gebremst wird, oder wie im Coasting gefahren wird), wurde gezielt der Vergleich des Energieverbrauchs unter möglichst gleichen Bedingungen und Zeitvorgaben (entsprechend den Prioritäten «Pünktlichkeit vor Wirtschaftlichkeit») gezogen.

Hinweise:

- Nach Herstellerangaben ist das verwendete OBU-Funktionsmuster für Phase 2 bezüglich pünktlicher Ankunft optimiert worden. Das bedeutet, dass ATO immer die volle zur Verfügung stehende Zeit bis zum planmässigen Halt ausnützt und sich die energieoptimierte Fahrweise an diesen Randbedingungen richtet.
- Bei den Testfällen mit dem Funktionsmuster der Phase 2 stand eine energiesparende Fahrweise nicht im Vordergrund.
- Es war eine durchgängige MA bis über den Haltepunkt hinaus vorhanden

Die nachstehende Abbildung 17 zeigt einen direkten Vergleich zwischen einem manuell gefahrenen und einem mit ATO gefahrenen Streckenabschnitt zwischen Villette und Cully. Die Vorgabe an das Lokpersonal für die manuelle Fahrt war folgendermassen: «Ein möglichst präzises Einhalten der vorgegebenen Fahrtzeit». Dies wurde durch das Lokpersonal hervorragend umgesetzt, mit einem Zeitunterschied < 1s. Beide Fahrten fanden bei trockenem Wetter und somit guter Adhäsion statt.

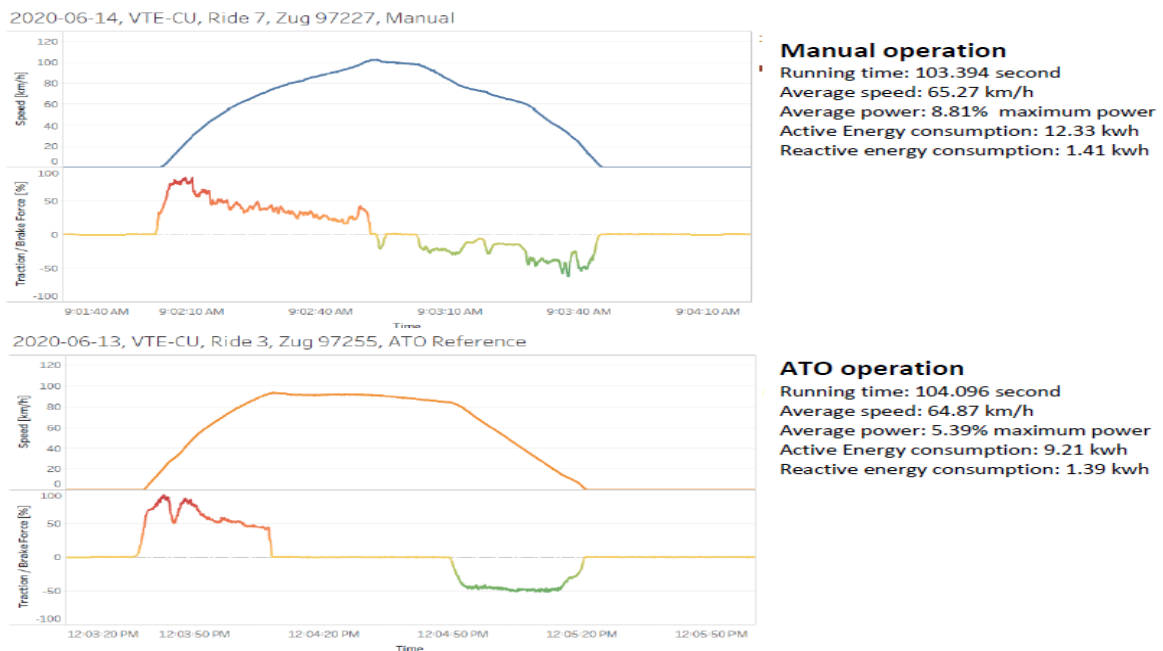


Abbildung 17 Vergleich Energieverbrauch Manuell-ATO

Der Vergleich zeigt Geschwindigkeit und Traktions/Bremsanforderung (dargestellt nur elektrisch inkl. Rekuperation, Energieberechnungen inkl. pneumatische Bremsen) gemessen über die Zeit auf dem Streckenabschnitt zwischen Villette (VTE) und Cully (CU).

In diesem Beispiel betrug der zeitliche Unterschied zwischen manueller und ATO Fahrt ca. 0,7 Sekunden, so dass die unterschiedliche Fahrzeit in Bezug auf den Energieverbrauch vernachlässigt werden kann.

Beim Vergleich des Fahrverhaltens ist interessanterweise erkennbar, dass beim manuellen Fahren fast während des gesamten Streckenabschnitts entweder beschleunigt oder verzögert (reku-periert) also laufend geregelt wird, während ATO zunächst stärker beschleunigt, im Anschluss einen Abschnitt im Coasting fährt und danach stärker abbremst. Der Energieverbrauch mit ATO liegt in diesem Beispiel ca. **25%** unter dem Energieverbrauch als bei der manuellen Fahrt.

Für eine repräsentative Erhebung des gemessenen Energiesparpotenzials, muss bei weiteren Testfahrten eine möglichst hohe Anzahl von Vergleichsfahrten mit unterschiedlichem Lokpersonal und unter verschiedenen Witterungsverhältnissen durchgeführt werden.

4.2.4. Potenzial zum Brechen von Lastspitzen:

Aus Sicht der Energieversorgung wäre es wünschenswert, zum Brechen von auftretenden Lastspitzen, den Energieverbrauch eines Zuges per ATO kurzfristig deutlich zu reduzieren. Daher wurde das ATO Team angefragt, ob man die Reaktionszeiten für ein solches Anliegen prüfen könne. Um dies zu evaluieren, wurde auf mehreren Streckenabschnitten folgender Testfall durchgeführt:

- Während der Fahrt wurde ein aktualisiertes Journey Profile mit deutlich späterer Ankunftszeit am nächsten Haltepunkt an die ATO OBU gesendet
- Dies führte bei der OBU zu einer deutlichen Verringerung der Geschwindigkeit (mit entsprechender Reduzierung des momentanen Energieverbrauchs).

Die gemessene Zeit zwischen Aussendung des Journey Profils der ATO TS (TMS) und Reaktion der ATO-OBU lag zwischen 1 und 3 Sekunden. Es konnte aber nicht untersucht werden, ob diese Latenzzeit für die Übertragungskette (Internet und Mobilfunknetz) repräsentativ ist.

Für den Anwendungsfall «Lastspitze brechen» liegen derzeit keine spezifischen Anforderungen vor. Ob die getestete Massnahme auch unter der Berücksichtigung der Latenzzeiten und bereits absehbaren Veränderungen wie dem Wechsel auf das zukünftige Eisenbahnfunknetz FRMCS eine geeignete Lösung zum Brechen von Lastspitzen darstellt, muss weiter untersucht, mit Messungen hinterlegt und gemeinsam mit der Fachabteilung analysiert und definiert werden.

4.2.5. Adhäsion

Zusammenfassung

- Es wurden keine relevanten Unterschiede des ATO Fahrverhaltens bei Fahrten auf nasser und trockener Schiene festgestellt.

Während der Inbetriebsetzungsphase wurde die Funktionalität «Adhäsionsregelung» getestet (siehe Kapitel 3.2.1). Bei Übermittlung eines schlechten Adhäsionswertes (mittels Segment Profile) an die ATO OBU wird die Zug- bzw. Bremskraft entsprechend reduziert.

Am Testwochenende vom 22./23. Februar traten keine schlechten Adhäsionsverhältnisse auf, am Testwochenende vom 13./14. Juni gab es auf wenigen Fahrten Regen und somit schlechte Adhäsion.

Bezüglich der örtlichen oder zeitlichen Haltegenauigkeit wurde bei den Messungen keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen trockener und nasser Schiene festgestellt. Da jedoch über das ATO-TS ohne spezielle manuelle Bearbeitung keine Adhäsionswerte übertragen wurden, setzte beim Beschleunigen auf nassen Schienen der Gleitschutz hörbar häufiger ein.

In der nachfolgenden Abbildung **18** wird das Anhalten auf nasser (links) und trockener Schiene (rechts) untereinander verglichen. Auch beim Betrachten des Fahrprofils (nähe der Bremskurve (Geschwindigkeit) in blau zur Permitted Speed in grün) können keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

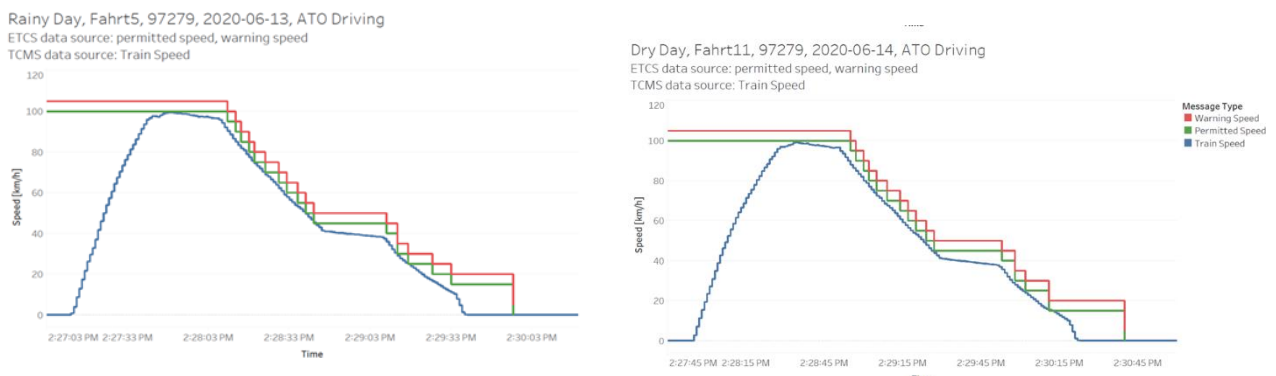


Abbildung 18 Vergleich des Bremsverhaltens bei guter und schlechter Adhäsion

4.2.6. Fahrverhalten bei Schutzstrecken

Auf der Strecke Lausanne-Villeneuve existiert keine Schutzstrecke, so dass die Funktionalität im Rahmen von ATO2Basic Phase 2 nur mit einer simulierten Schutzstrecke getestet werden konnte. Bei Einfahrt in die per Segment Profile definierte Schutzstrecke fordert die ATO OBU keine Zugkraft mehr an.

4.2.7. Steuerung durch RCS / Journey Profile Updates / Regelkreise

Zusammenfassung

- Der Zeitpunkt des Journey Profile Updates während der Fahrt beeinflusst das Verhalten des äusseren und inneren Regelkreises (siehe folgende Abbildung 19), was Auswirkungen auf Pünktlichkeit, Energieverbrauch und Komfort für Fahrgäste, hat. Es wurde teilweise ein Aufschaukeln von Updates der Journey-Files festgestellt. Hierzu sind baldmöglichst, vor der Verankerung der Spezifikation in der TSI, weitere analytische Untersuchungen und Überprüfung notwendig, um bei einer ATO Einführung eine akzeptierbare Betriebsstabilität zu erreichen.

- Die Abhängigkeit des Fahrzeugtyp mit seinen systemspezifischen Eigenschaften und all-fällige weitere Gegebenheiten (Bsp. Maximale Beschleunigung, Gewicht, ...) sind eingehend zu untersuchen.
- Die optimale Anzahl von Timing Points zwischen zwei Haltepunkten ist zu durchleuchten.
- Die Koordination der entsprechenden Anforderungen zur Abstimmung der beiden Regelkreise zwischen Betriebs-Prozesse & Anforderungen, der TMS Entwicklung und ATO ist in diesem Bereich notwendig.

4.2.7.1. Übersicht Regelkreise

Eine ATO-OBU ist kein eigenständiges Onboard-System, sondern eine Integration von strecken-seitigen Systemen und Bordsystemen. Die Steuerung eines mit ATO ausgerüsteten Fahrzeugs kann innerhalb der Systemarchitektur durch zwei geschlossene Regelkreise abgebildet werden, die nachstehend beschrieben sind.

Der innere Regelkreis befindet sich auf dem Fahrzeug, und wird durch die ATO-OBU gesteuert. Er regelt das Fahrverhalten des Fahrzeugs zwischen definierten Punkten auf der Strecke und innerhalb der vom ATO-TS übermittelten Vorgaben. Diese werden von der ATO OBU oder vom Lokpersonal unter Berücksichtigung der Prioritäten, «Sicherheit vor Pünktlichkeit vor Wirtschaftlichkeit» umgesetzt. «Umsetzung» bedeutet in diesem Zusammenhang das Übermitteln von Traktions-/bzw. Bremsanforderungen per SS139 oder Fahr-/Bremshebel an das TCMS, welches die Brems- und Antriebssysteme des Fahrzeugs ansteuert. Gleichzeitig beobachtet der Lokführer oder die ATO-OBU den Zugstatus und manipuliert entsprechend den Prozessschritten Türen etc.

Der äussere Regelkreis enthält sämtliche Elemente der Infrastruktur, welche das Fahrverhalten des Fahrzeugs steuern oder beeinflussen können. Das RCS, führt die Netzoptimierung durch und leitet daraus die Vorgaben für jedes einzelne Fahrzeug ab, die per ATO-TS an die ATO-OBUs übermittelt werden. Diese Vorgaben werden bei Bedarf neu geplant und übermittelt. Die ATO-OBU muss für eine optimale Netznutzung als auch Betriebsstabilität diese Vorgaben unmittelbar und präzise umsetzen. Neben dem RCS beinhaltet der Regelkreis auch sämtliche Elemente der Zugbeeinflussung, die einen Einfluss auf das Regelungsverhalten des RCS haben.

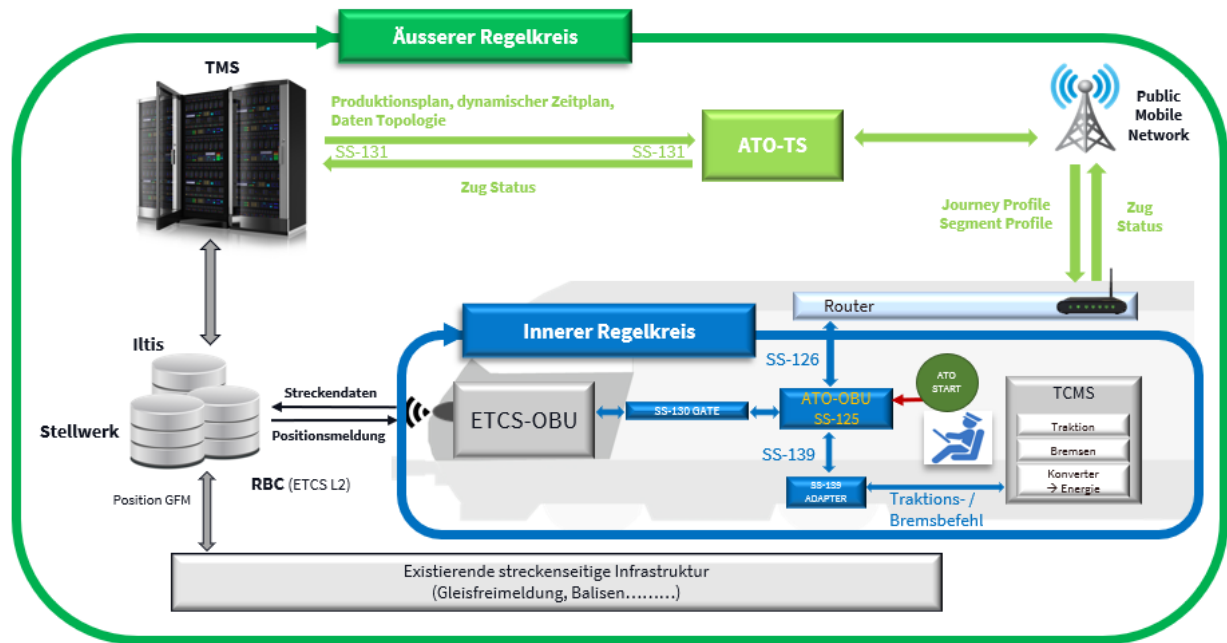


Abbildung 19 Systemarchitektur mit Darstellung der Regelkreise

Die Abbildung stellt die generische Systemarchitektur dar, und zeigt auf, aus welchen Elementen sich der innere Regelkreis (in blau) sowie der äussere Regelkreis (in grün) zusammensetzt.

4.2.7.2. Fahren mit Live-Daten aus dem RCS

Live-Daten aus dem RCS (Fahrplandaten, Prognosedaten) werden als Grundlage für die Erstellung von Journey Profilen durch das ATO-TS verwendet. Kann beispielsweise eine planmässige Ankunftszeit aufgrund der Prognose durch RCS nicht erreicht werden, so wird eine neue Produktionsvorgabe von RCS an das ATO-TS übermittelt. Dieses setzt die Vorgabe in ein neues Journeyprofil mit entsprechend geänderter Ankunftszeit um, und übermittelt es an die ATO-OBU. Eine systematische Betrachtung der Latenzzeiten zwischen RCS und ATO-OBU, bzw. deren Auswirkungen fand nicht statt.

Dadurch, dass beim heutigen RCS die Granularität beispielsweise der bekannten Zugposition relativ grob ist, können hierbei bestimmte Unschärfen in der Prognose entstehen.

Beobachtungen:

- Fahrten, bei denen die Journey Profile auf RCS Livedaten basieren, werden bei normaler, fahrplanmässiger Betriebssituation ohne Auffälligkeiten durchgeführt.
- Bei dynamischen Betriebssituationen, bei denen Verspätungen und Änderungen Auswirkungen auf den Fahrplan haben, sind jedoch Beschleunigungs- oder Bremsvorgänge nach Erhalt eines Journey Profile Updates und der daraus resultierenden Neuberechnung des Fahrprofils als gefühltes «unstetiges Fahrverhalten» wahrnehmbar.
- Bei Verspätungen wurde aufgrund des Regelkreises RCS <-> ATO-OBU manchmal der Effekt beobachtet, dass die Verspätung zu einer Neuberechnung der prognostizierten

Ankunftszeit des RCS führt. Dies hatte zur Folge, dass die ATO OBU nach Empfang des entsprechenden Journey Profile ein noch langsames Fahrprofil berechnet. Dieser Effekt hat sich dabei teilweise auch aufgeschaukelt.

- Es müssen mittels weiterer Testfahrten die Abhängigkeiten des inneren und des äusseren Regelkreises (siehe Abbildung 19) untersucht werden, damit ein optimaler Betrieb und Betriebsstabilität gewährleistet werden kann.
- Die aktive Berechnung der prognostizierten Ankunftszeit erfolgt in der ATO OBU anhand der aktuellen Fahrzeugeigenschaften. Somit könnte eine fahrzeugspezifische Berechnung der Prognose unter Berücksichtigung des tatsächlichen Fahrprofils im RCS die Genauigkeit deutlich verbessern.

Aus den oben aufgeführten Beobachtungen resultiert, dass auf Einflüsse des Zeitpunkts des Journey Profile Updates während der Fahrt auf den Komfort für Fahrgäste, sowie auf den äusseren Regelkreis (ATO-OBU im Zusammenspiel mit TMS) besonderes Augenmerk gelegt werden muss. Dazu sind analytische Untersuchungen und eine Reihe weiterer Testfahrten für die Überprüfung dieser analytischen Resultate notwendig. Dabei muss auch die Abhängigkeit des Fahrzeugtyp (Verhalten) und allfälliger weiterer Gegebenheiten (z.B. maximale Beschleunigung, Gewicht,) untersucht werden, da bei die Verwendung dieser Daten ein erhebliches Optimierungspotenzial besteht. Für das Zielbild des Systems SR40 bedeutet dies:

- Im Zusammenspiel des inneren (TCMS, ATO-OBU etc.) und äusseren (TMS, Bahnsystem etc.) Regelkreises muss ein geeigneter Regelalgorithmus entwickelt, erprobt und optimiert werden, damit ein sanfter Wechsel des Fahrverhaltens realisiert werden kann.
- Hierzu ist eine Koordination der entsprechenden Anforderungen zwischen Prozesse & Anforderungen, der TMS Entwicklung und ATO erforderlich. Dies, um allenfalls fahrzeugspezifisch geeignete Parameter für entsprechenden Anforderungen an das Gesamt-System zu definieren bzw. dass anhand der resultierenden Daten ein kontinuierlich besserer Regelkreis realisiert werden kann. Dies wird ab einem gewissen Zeitpunkt ohne den Einsatz von künstlicher Intelligenz nicht möglich sein
- Die bereits angedachte Optimierung der Systemtechnologien, Harmonisierung der Schnittstellen und Protokolle (z. B. OCORA), sowie das systemische Erweitern der Datenmenge und Datendichte müssen vorangetrieben werden, um obige Potentiale der Regelkreise zu nutzen.

Ebenso ist zu untersuchen, wie viele Timing Points zwischen zwei Haltepunkten optimal sind. Zu viele Timing Points könnten zu einem unruhigen Fahrverhalten und erhöhtem Energieverbrauch führen.

5. Fazit

Dieses Kapitel fasst die Erkenntnisse der Versuchsfahrten auf der Strecke Lausanne-Villeneuve im Rahmen von ATO2Basic, sowie die Vorbereitungsfahrten der SBB für den Shift2Rail DB Cargo ATO Freight Demonstrator (Siehe Dokument Bericht DB Cargo Pilot Vorbereitung Sion-Sierre) zusammen.

Somit beinhaltet dieses Kapitel den zum Veröffentlichungszeitpunkt bekannten Kenntnisstand über Eigenschaften und Potenzial zu ATO im Automatisierungsgrad GoA2 im Regionalverkehr. Die nachfolgend aufgelisteten Eigenschaften von ATO werden in den nachfolgenden Unterkapiteln im Detail diskutiert:

- Anwendbarkeit der TSI Normenentwürfe im schweizerischen Bahnbetrieb
- Fahrverhalten
- Pünktlichkeit
- Halteposition
- Energiesparen
- Komfort für Fahrgäste
- Nutzen für den Bahnbetrieb und das Lokpersonal

5.1. Zielerreichung der Phasenziele

Ziel		Bemerkung
ATO-Betrieb mit allen ATO-OBU Schnittstellen gemäss TSI Normenentwurf (soweit technisch machbar)	✓	Die Livetests wurden mit einem entsprechend ausgestatteten ATO-OBU Funktionsmuster durchgeführt.
Fahrbetrieb mit bidirektionaler Schnittstelle zum ATO-TS und somit Umsetzung dynamischer Fahrplanvorgaben durch RCS	✓	Es wurden Fahrten mit entsprechenden Vorgaben durchgeführt, die Umsetzung demonstriert, und auch Verbesserungspotenzial identifiziert
Weitegehende Beobachtungen des Fahrverhaltens mit erweiterter Funktionalität gegenüber Phase 1, Ermittlung des Potenzials	✓	Die Beobachtungen wurden durchgeführt und sind im vorliegenden Dokument beschrieben.
Prüfung, dass die Funktionalität von ATO den Bahnbetrieb nicht negativ beeinflusst	✓	Es wurden keine negativen Auswirkungen auf den Bahnbetrieb festgestellt, Optimierungspotenzial ist jedoch vorhanden.
PoC, dass ATO GoA2 mit ETCS-Anbindung gemäss Subset 130 auch bereits mit der ETCS Baseline 2.3.0d umsetzbar ist.	✓	ATO mit GoA2 ist bereits mit Baseline 2.3.0.d grundsätzlich möglich.

Tabelle 8 Übersicht Erreichung der Phasenziele

5.2. Anwendbarkeit der TSI Normenentwürfe im schweizerischen Bahnbetrieb

Aus heutiger Sicht entstehen durch die Anwendung von ATO mit TSI-gemässen Schnittstellen unter gewissen Auflagen (Analysen und Betriebserprobung der Regelkreisabhängigkeit und allfälliger Anpassungen in den Spezifikationen) keine Beeinträchtigungen des schweizerischen Bahnbetrieb. In der Phase 2 des Projekts ATO2Basic konnte bereits ein grosses Nutzenpotenzial bezüglich einem ATO Einsatz identifiziert werden.

Es sind aber einige Punkte festgestellt worden, welche unbedingt in der geplanten Spezifikation für die TSI Norm berücksichtigt werden müssen. (Siehe Kapitel 0) Diverse Punkte wurden bereits an die Working-Group von Shift2Rail zurückgemeldet, die einerseits absolut notwendig sind und auch ein deutliches Verbesserungspotenzial für die geplanten Spezifikationen für die TSI-Norm beinhalten. Ziel ist es, das Zusammenspiel zwischen ATO und TMS-Systemen im Allgemeinen, insbesondere jedoch mit dem zukünftigen TMS zu optimieren.

Die definitiven Normen der TSI 2022 sehen ein Zusammenspiel der ATO-OBU mit einer ETCS-OBU mit einem Softwarestand von Baseline 3.7 (3.6 mit ATO Interface und DMI Anpassungen für die ATO Informationen) oder höher vor. Im Gegensatz hierzu konnte demonstriert werden, dass bereits mit einer ETCS-OBU die mit der heute aktuellen Baseline 2.3.0.d ausgerüstet ist, ein ATO-GoA2 Betrieb möglich ist und dabei sowohl grosse Beiträge an die Stabilitätsverbesserungen des Fahrplans und der Erhöhung der Knotenkapazität bei gleichzeitig maximalem Energie-sparpotential realisieren lässt. Für die Einführung von ATO ist keine Hochrüstung der ETCS-Bordausrüstung der in der Schweiz verkehrenden bestehenden ETCS Fahrzeugflotte notwendig.

5.3. Fahrverhalten

ATO zeigt ein sehr präzises Regelverhalten des Fahrprofils. Bei entsprechenden Zeitvorgaben wird sehr eng an den von ETCS vorgegebenen Geschwindigkeits- und Bremskurven gefahren.

Zukünftiges Optimierungspotenzial besteht bei der Anwendung der verschiedenen Bremskurven. Die ETCS Warnkurve ist eingeführt, um bei manueller Fahrt den Lokführer rechtzeitig informieren über eine bevorstehende Zwangsbremmung. Bei ATO könnte nach erfolgreicher Einführung auf die Anwendung der Warnkurve verzichtet werden, um den maximalen Kapazitäts-gewinn zu ermöglichen. Wichtig ist hierbei, dass die Regelung der ATO-OBU dabei keine Zwangsbremmung auslöst.

5.4. Pünktlichkeit

Die Regelung der ATO-OBU ist kontinuierlich sehr präzise, so dass die Abweichung zwischen fahrplanmässiger Ankunft (gemäss Journey Profile) und tatsächlicher Ankunft sekundengenau erfolgt. Voraussetzung ist, dass die Ankunftszeit aufgrund der Abfahrtszeit am vorherigen Haltepunkt und der Streckenhöchstgeschwindigkeiten erreichbar ist.

Auch im Verspätungsfall strebt die ATO-OBU eine pünktliche Ankunft an und fährt entsprechend des in Kapitel 5.3 beschriebenen Fahrverhaltens und möglichst Energieoptimal zum nächsten Haltepunkt. Dadurch wird die Verspätung auf dem entsprechenden Streckenabschnitt so weit wie möglich reduziert.

5.5. Halteposition

Bereits mit dem Funktionsmuster werden die Anforderungen an smartrail 4.0 (bei entsprechend positionierten Balisen) zu 97% eingehalten. Sämtliche Vorgaben aus den Schulungsunterlagen des Lokpersonals können bereits mit der heute bestehen Infrastruktur eingehalten werden.

5.6. Energiesparen

Energiesparen ist fahrzeugabhängig beispielsweise durch Reduzierung von Beschleunigungs- und Bremsvorgängen möglich, was jedoch -je nach Fahrplanvorgaben- Auswirkungen auf die Pünktlichkeit hat.

Bei den durchgeführten Vergleichsfahrten (Einzelfahrten) zwischen ATO und manueller Fahrt wurde ein Energiesparpotenzial von bis zu maximal 37% beobachtet. Hierbei wurde ebenfalls beobachtet, dass bei Fokussierung des Lokpersonals auf energiesparende Fahrweise die Präzision bei der Ankunft sowohl zeitlich als auch örtlich (verständlicherweise) mit der Präzision von ATO nicht mithalten konnte. (Siehe Referenz 1)

5.7. Dynamisches Fahr-/Bremsverhalten

Für den Komfort für Fahrgäste anhand des dynamischen Fahr-/Bremsverhaltens ist dem ATO Team keine konkrete Definition bekannt, welche aufgrund messbarer Parameter verifiziert werden könnte.

Die Definition gemäss Beschaffungsunterlagen ist hierfür nicht anwendbar, da die entsprechenden Werte gemäss Definition über längere Strecken gemittelt werden, und nicht das unmittelbare Fahrverhalten bei Anfahrt und Bremsvorgängen berücksichtigen.

Der subjektive Eindruck des Testteams bei den Fahrten mit ATO ist, dass man zwischen ATO-Fahrten und regulären Fahrten im Regionalverkehr kaum Unterschiede bemerkt. Allenfalls kurz nach Abfahrt bzw. kurz vor dem Anhalten entsteht der Eindruck, dass manuelle Fahrten sanfter erfolgen. Beim Aufholen von Verspätungen werden auch die zügige Beschleunigung sowie das straffe Abbremsen wahrgenommen. Auch beim Überfahren von Weichen nutzt ATO im Bedarfsfall die maximal zugelassene Weichengeschwindigkeit, während manuelle Fahrten mit individueller, reduzierter Geschwindigkeit subjektiv komfortabler erfolgten.

5.8. Nutzen für den Bahnbetrieb und das Lokpersonal

5.8.1. Von der Industrie ausgewiesener Nutzen von ATO und dessen Bewertung
Bereits 2017 postulierte die Industrie siehe Referenz 2 (Präsentation ATO/DAS over ETCS-The way towards unattended operation for Main Lines - Alstom, Feb. 2017) anhand einer Analyse von verschiedenen Projekten die folgenden Potenziale von ATO:

- **Bis zu 42% Energiesparpotenzial im Regionalverkehr**
- **Bis zu 30% Kapazitätsgewinn**

5.8.1.1. Bewertung des Energiesparpotenzials:

Auf den Testfahrten konnte in Einzelmessungen ein Energiesparpotenzial von bis maximal 37% beobachtet werden. Bei der in ATO2Basic Phase 2 verwendeten OBU handelt es sich um ein Funktionsmuster, welches mit Normenentwürfen der Schnittstellenspezifikationen ausgestattet ist und ohne Spezifikationen keinerlei Prototyp- oder Produktstatus besitzt. Vor diesem Hintergrund erscheint die Aussage der Industrie gemäss Kapitel 5.8.1, zumindest in einzelnen Streckenabschnitten, realistisch bzw. möglich. Welche durchschnittliche Energieeinsparung realistisch ist, kann erst nach einer längeren Betriebserprobung (und dann auch nur für diese Streckenabschnitte) ausgewiesen werden.

5.8.1.2. Bewertung der Kapazitätssteigerung (Stabilität, Knotenkapazität)

Mit der beobachteten Präzision der ATO-Regelung, an den System-Limiten (Bsp. der Nähe des gefahrenen Profils zur Bremskurve, auch bei schlechten Adhäsionsverhältnissen) wird das postulierte Potenzial zur Kapazitätssteigerung als realistisch angesehen. Die örtliche Präzision des Anhalteverhaltens kann ebenfalls einen Beitrag zur Fahrplanstabilität leisten. Zusatznutzen

entsteht insbesondere dadurch, dass die Lenkung des Passagierwechselforgangs durch geeignete Massnahmen an den Perrons verbessert werden und somit die Zeit für das Ein- / Aussteigen optimiert werden kann.

5.8.2. Bewertung des Potenzials von ATO GoA2 zur Entlastung des Lokpersonals

ATO hat das Potenzial, gleichzeitig pünktlich, präzise (Halteposition) und energieeffizient zu fahren. Die ATO-OBUE berechnet laufend über die gesamte Fahrdauer ein optimales Fahrprofil. Für das Lokpersonal ist es anspruchsvoll, dauerhaft und repetitiv über die ganze Schichtdauer neben den Sicherheitsaufgaben alle 3 Parameter (Zeit, Halteposition, Energie) gleichzeitig im Auge zu behalten. ATO kann das Lokpersonal hierbei stark, insbesondere in Knoten, entlasten und unterstützen.

ATO kann präzise und eng an den Geschwindigkeitskurven der Zugbeeinflussung fahren. Enges Fahren an der Grenze von «gelbem» (Bremsankündigung) und «orangenen» (Warning) Bereich des ETCS erfordert eine hohe Konzentration des Lokpersonals und ist über einen längeren Zeitraum fast nicht durchführbar.

Das Lokpersonal kann sich in wiederholten und/oder dauerhaft anspruchsvollen Situationen durch Benutzung von ATO entlasten und sich somit den wesentlichen und wichtigsten Aufgaben (Fahrbahn- / Fahrgastüberwachung und Fahrgastbetreuung) widmen, welche auch nicht durch einen ATO GoA2 Einsatz abgenommen werden können. Das Personal wird bei einer ATO Fahrt bezüglich resultierender Verspätungen entlastet. Erweiterte Anforderungen und Stresssituationen des Lokpersonals durch Erweiterung der Knotenkapazität oder zukünftige zusätzliche Angebotserweiterung werden mit ATO entschärft.

Es ist noch zu bestimmen, wo und wann (örtlich, zeitlich) ATO GoA2 eingesetzt werden soll, damit das Lokpersonal entlastet werden kann und sich vollständig auf die Sicherheit gemäss Anweisung «Sicherheit vor Pünktlichkeit vor Wirtschaftlichkeit» fokussieren kann (z.B.: Knoten zur Hauptverkehrszeit), ohne dass die Konzentration nachlässt.

6. Ausblick

Weitere Testfahrten der Phase 2, sowie die bereits geplanten Phasen 3 und 4 (Betriebserprobung) des Projekts ATO2Basic mussten entsprechend der Budgetkürzung 2020 und der Reduzierung der Mittel in der LV21-24 storniert werden.

Die Aktivitäten der Phase 3, sowie die Phase 4 als kommerzielle Betriebserprobung sind während der Finalisierung der Shift2Rail Standards unabdingbar. In diesen Phasen sollen die definitiven Standards evaluiert die Anwendbarkeit für das Lokpersonal nachgewiesen, sowie mittels Performancevorgaben an die Industrie, repräsentative Messungen gemacht werden und müssen unbedingt vor einer Freigabe der Spezifikationen in der TSI durchgeführt werden.

Bereits aus Phase 2 bekannte Themen, die in Phase 3 analysiert werden müssen, sind die folgenden:

- Umfangreiche Analyse des Regelalgorithmus, beispielsweise im Zusammenhang mit der traktionslosen Phase in Schutzstrecken
- Analyse der Mindestanforderungen für die Anpassung der ETCS-Projektierungsregeln an Strecken mit ATO-Betrieb (z.B. zusätzliche Balisenpositionen), damit bei Upgrades von bestehenden L2 Strecken und/oder L2 Erweiterungen diese berücksichtigt werden können
- Vertiefte Überprüfung der Genauigkeit der Halteposition und detaillierte Analyse der OBU- und Infrastrukturdaten zur Ermittlung der Ursachen für das Anhalten an Positionen, die nicht der Vorgabe entsprechen
- Ermittlung von fahrzeugspezifischen Abhängigkeiten des Regelalgorithmus zur Optimierung des Fahrprofils
- Systematische Untersuchung des Fahrverhaltens bei schlechter Adhäsion
- Detaillierte Energievergleichsmessungen, detaillierte Analysen des Wirkmechanismus, Vergleich der Energiesparstrategien des Bundes und der SBB
- Analyse von Infrastruktur - und fahrzeugspezifischem Optimierungspotenzial

Unabhängig von ATO2Basic finden im Rahmen des Shift2Rail/DB Cargo Projekts «IP5 ATO GOA2 Cargo Demonstrator» Testfahrten mit einem Güterzug statt, bei welchen die Spezifikationen für einen Einsatz eines Güterzuges analysiert. Zur Überprüfung der Testinfrastruktur, insbesondere der Segmentprofile, fanden vorgängig Verifikationsfahrten mit dem für ATO2Basic verwendeten Fahrzeug statt. Die daraus resultierenden Beobachtungen wurden in einem separaten Dokument im Rahmen des SBB-Supports für diesen von DB-Cargo definierten Piloten beschrieben (Siehe Dokument Bericht DB Cargo Pilot Vorbereitung Sion-Sierre). Die Ergebnisse dieser Verifikationsfahrten können unterstützend für diesen Bericht verwendet werden.

7. SBB spezifische Bemerkungen

Bei den Fahrten wurde beobachtet, dass das aktuelle ATO-OBU Funktionsmuster auf Inkonsistenzen der Segment Profile sehr empfindlich reagiert:

- Am Ende eines Segment Profile (SP) befand sich ein Gradient, dessen Länge über das SP-Ende hinaus ging. Dadurch wechselte die OBU in den Zustand «Disengaged»
- Bei fehlenden Balisendaten im Segment Profile (SP) wechselte die OBU in den Modus «Disengaged». Jedoch nicht in allen Fällen.

Durch den Abbruch (Budgetreduktion) der Testfahrten und da es sich bei der ATO-OBU um ein Funktionsmuster aus der Entwicklung handelt, konnten diese Phänomene mit dem Hersteller nicht im Detail untersucht werden. Grundsätzlich kann allerdings auch bei späteren kommerziellen Produkten verschiedener Hersteller nie zu 100% gewährleistet werden, dass beliebige Fehlerfälle auch komplett abgefangen werden können.

Besonderes Augenmerk sollte daher auf die Optimierung der Automatisierung und der Grunddaten zur Generierung der Segmentprofile gelegt werden. Die Ursache für die aufgetretenen Inkonsistenzen und Auffälligkeiten sollte bis zur Quelle (root cause) zurückverfolgt werden. Fehlerhafte Grunddaten sollten so früh wie möglich in der Prozesskette erkannt und bereinigt, sowie vor dem Versenden an die OBU überprüft werden. Es ist wichtig, dass bei der Einführung von ATO die zur Erstellung der Segmentprofile verwendeten Topologiedaten eine adäquate Qualität haben.

8. Findings in den Normen

Im Verlauf des Projekts wurden diverse Befunde und Verbesserungspotential in den Spezifikationen identifiziert (Energiemanagement, Steuerung von TMS wie max. Beschleunigungswerte), welche an Shift2Rail zurückgemeldet wurden und derzeit diskutiert werden bzw. in Bearbeitung sind. Die Findings können grundsätzlich in die folgenden Gruppen unterteilt werden:

a. Fehlende Funktionalität

Während der Durchsicht der Normenentwürfe für die Vorbereitung der Tests bei ATO2Basic Phase 2 konnten einige Ideen für Prüfungen im Zusammenhang mit anspruchsvollen Steuerungsszenarien durch ein TMS nicht in Testfälle umgesetzt werden. Da die hierfür notwendige Funktionalität nicht in den Normenentwürfen vorhanden war. Die hierfür erforderliche Funktionalität ist dieser Gruppe zugeordnet.

b. Prüfbedarf (nicht abgedeckt durch Funktionsmuster)

Bei der Vorbereitung der Tests wurden einige Befunde erstellt, aus Sicht der Befundersteller geprüft werden müssten, aber aufgrund nicht implementierter Funktionalität (beispielsweise fehlendes standardkonformes DMI) nicht getestet werden konnten. Nicht erfolgte Prüfung von Befunden aufgrund nicht implementierter Funktionalität ist dieser Gruppe zugeordnet.

c. Auffälligkeiten während der Versuchsfahrten

Befunde in dieser Gruppe wurden während der Versuchsfahrten identifiziert, und an Shift2Rail zurückgemeldet.

d. Verbesserungsvorschläge / Bemerkungen ohne Bezug zu ATO2Basic

Bei der Prüfung der Normen aufgekommene Fragen, Bemerkungen oder festgestelltes Verbesserungspotenziale (inkl. Forderungen / Anpassungen welche durch das Lokpersonal identifiziert wurde), welche an Shift2Rail zurückgemeldet wurde, ohne direkten Bezug zu ATO2Basic Piloten. Gleichzeitig wurden einige Punkte identifiziert, welche für eine Akzeptanz des Lokpersonal unbedingt notwendig sind und gleichzeitig stufengerechte Erhöhung der ATO Leistung, ohne entsprechenden Upgrade der ATO OBU (insbesondere deren Software), notwendig ist.

9. Verzeichnis Referenzdokumente

1. Bericht DB Cargo Pilot Vorbereitung Sion-Sierre
2. Präsentation ATO/DAS over ETCS-The way towards unattended operation for Main Lines
- Alstom, Feb. 2017
3. ATO2Basic Phase 2 Testcases V2.1
4. Testreport 2019 veröffentlicht auf der [Website von smartrail 4.0](#)